

Maanparannustoimenpiteiden kannattavuus

Petri Lappi

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Taloustieteen laitos

Maatalousekonomia 2018

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department	
Maatalous-metsätieteellinen		Taloustieteen laitos	
Tekijä/Författare – Author			
Petri Lappi			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Maanparannustoimenpiteiden kannattavuus			
Oppiaine /Läroämne – Subject			
Maatalousekonomia			
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
Maisterintutkielma	Kevät 2018	68 + liitteet	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Tutkielmassa arvioitiin maanparannustoimenpiteiden kannattavuutta Opal Life -hankkeen pilottitilojen esimerkkitapausten pohjalta. Maanparannustoimenpiteiksi luettiin viljelykierron monipuolistaminen ja kertaluonteiset perusinvestoinnit. Tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka pian parannustoimenpiteet investointina maksavat itsensä takaisin eri satohyöty- ja hintaskenaarioilla, sillä toimenpiteiden vaikutusta maan sadontuottokykyyn ja siitä saatavaan satohyötyyn on erittäin vaikea arvioida. Kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen hintatason vaikutusta lopputulokseen tutkittiin herkkyysanalyyseillä.</p> <p>Maanparannustoimenpiteiden taloudellista kannattavuutta (investointien takaisinmaksuaikaa) tarkasteltiin tässä tutkimuksessa vertailemalla peltolohkon nykytilassa antamaa taloudellista tuottoa siihen, mitä olisi saatavissa parantamalla pellon kasvukuntoa. Paremmen kasvukunnon oletettiin tuottavan suuremman sadon. Tilatason taloudellisissa laskelmissa huomioitiin kunkin peltolohkon viljelykierrat, tuotot ja kustannukset kasvukuntoa parannettaessa ja ilman parannusta.</p> <p>Maanparannustoimenpiteistä saatava hyöty perustuu mahdollisesti saatavaan sadonlisäykseen. Herkkyysanalyysin tulosten mukaan sadonlisäyksellä on merkittävä vaikutus maanparannuksen takaisinmaksuaikoihin. Näissä tapauksissa korkea sadonlisäys lyhentää takaisinmaksu aikaa merkittävästi.</p> <p>Kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen taso vaikutti myös merkittävästi tulonmenetyksiin ja maanparannuksen kannattavuuteen. Korkea hintataso pidentää takaisinmaksuaikaa, koska uuden tuotantojärjestelmän ensimmäisten vuosien myyntituottojen menetykset kasvavat, jos perusinvestointivuosina ei ole myytävää satoa kuten tämän tutkimuksen esimerkkitapauksissa.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
satokuilu, maanparannustoimenpiteet, satotaso, OPAL Life, maan rakenne			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	4
1.1	Tutkimuksen tausta.....	4
1.2	Tutkimuksen tavoitteet.....	7
2	Maan kasvukunto ja sen parantaminen.....	8
2.1	Maan rakenteeseen ja kasvukuntoon vaikuttavat tekijät	8
2.1.1	Biologiset tekijät.....	9
2.1.2	Fysikaaliset tekijät.....	12
2.1.3	Kemialliset tekijät.....	14
2.2	Maan kasvukunnon parantamiseen tähtäävät toimenpiteet	15
2.2.1	Peruskunnostustoimenpiteet	16
2.2.2	Viljelykierto	18
3	Viljelykierto ja maanparannus maatalousyrittäjän päätöksenteossa.....	29
3.1	Investoinnit	31
3.2	Tuotantojärjestelmien vertailu	33
3.3	Tilan resurssien, toimintaympäristön ja taustatekijöiden vaikutus.....	36
4	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto.....	38
4.1	Tutkimusmenetelmät.....	38
4.2	Skenaariot	41
4.3	Tutkimusaineiston kuvaus ja aineiston hankinta.....	42
5	Tutkimustulokset	45
6	Tulosten tarkastelu	58
7	Johtopäätökset.....	60

LÄHTEET

LIITTEET

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämä tutkimus on osa OPAL Life – hanketta. OPAL Life on Luonnonvarakeskuksen hallinnoima vuosien 2015–2020 ajan kestävä EU:n rahoittama hanke, jonka tavoitteena on maatalouden ilmastopäästöjen vähentäminen kestävän tehostamisen periaatetta noudattaen. Tämä tarkoittaa maatalouden kehittämistä suuntaan, jossa ympäristöhyödyt, tilan kannattavuus ja tuottavuus sekä sosiaaliset näkökulmat tukevat toisiaan. (OPAL Life 2016a.)

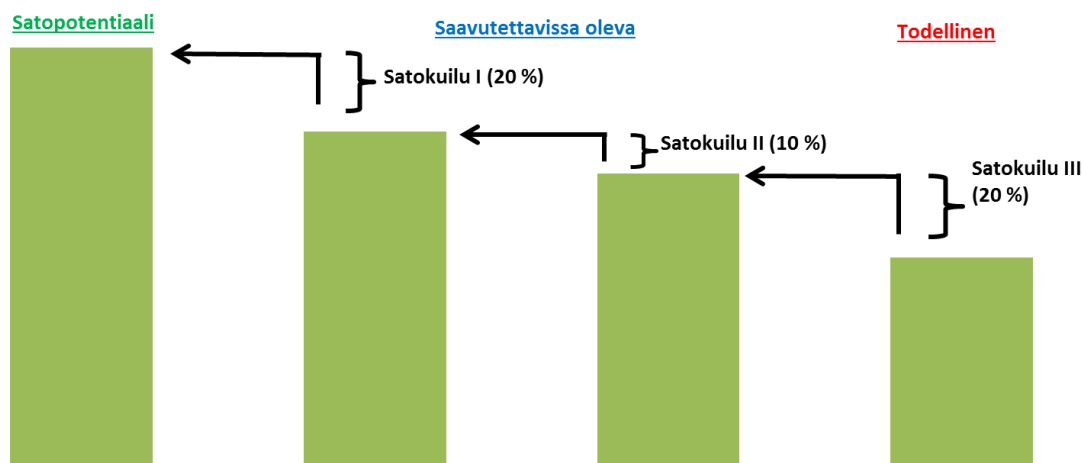
Kestävä tehostaminen on tärkeää, jotta ruoan kasvavaan kysyntään ja ilmastomuutoksen tuomiin haasteisiin voitaisiin vastata ympäristön tilaa heikentämättä. Esimerkiksi maatalouden ravinnehuuhtoumat ja kasvihuonekaasupäästöt uhkaavat lisääntyä, jos tuotantopanosten, kuten lannoitteiden, rehujen ja energian käyttö sekä peltoala kasvavat. Kestävä tehostaminen merkitsee ennen muuta panosten ja peltoalan aiempaa tehokkaampaa hyödyntämistä niin, että ympäristökuormitus kokonaisuutena vähenee, vaikka tuotanto kasvaa. (Soussana ym. 2012, Foley ym. 2011, FACCE JPI 2016a, Peltonen-Sainio 2015.)

OPAL Life – hankkeessa tutkitaan, miten pellonkäyttöä voidaan taloudellisesti optimoida kohdentamalla tuotantopanokset oikein: tarvittaessa lisäämällä niitä korkeatuottoisilla lohkoilla ja taas vähentämällä heikkotuottoisilla lohkoilla. Tämä mahdollistaa paremman sadon parhailta peltolohkoilta, jolloin huonommin tuottavat lohkot on mahdollista siirtää muuhun käyttöön, kuten tuottamaan ympäristöhyötyjä. (OPAL Life 2016a.)

Yhtenä osa-alueena hankkeessa selvitetään pilottitilojen peltolohkojen biologisten satokuilujen kokoa, niiden syitä ja keinoja satotasojen nostamiseksi (OPAL Life 2016b). Satokuilu tarkoittaa potentiaalisen sadon ja keskimääräisen toteutuneen sadon erotusta (Lobell ym. 2009, 181). Satokuilut riippuvat sekä pitkän (yli 10 vuotta), keskipitkän (5–10 vuotta) että lyhyen (alle 5 vuotta) aikavälin investointi-, viljely- ja panoskäyttöpäätöksistä (kuvio 1). Arvio satokuiluja muodostavista tekijöistä on esitetty kuviossa 1.

Maailmalaajuisesti satokuilut ovat 20–80 % potentiaalisesta sadosta. Maailmassa on tarvetta pienentää satokuiluja johtuen ruoan kysynnän kasvusta. (Lobell ym. 2009, 199–200.) Lisäksi Suomessa satotasojen nousu on hidastunut 1990-luvulta lähtien samalla,

kun satokuilu geneettisen satopotentialin ja toteutuneiden keskimääräisten satotasojen välillä on kasvanut (Peltonen-Sainio ym. 2009). Tämä johtuu markkinoiden ja politiikan (mm. lannoitemäärärajoitteet) muutoksesta sekä vähäisemmästä panosten käytöstä, sillä panosten ja tuotosten hintasuhde heikkeni Suomen liittyessä EU:n jäseneksi vuonna 1995. Tästä johtuen panosten hehtaariohtaista käyttömäärää kannatti alentaa. (Peltonen-Sainio ym. 2015.)



KUVIO 1. Satokuilua aiheuttavat tekijät voidaan jakaa osatekijöihin seuraavasti. Satokuilu I: heikko veden saatavuus, maan rakenne ja ojitus. Satokuilu II: riittämätön kalkitus. Satokuilu III: biologisesti riittämätön lannoitus ja kasvinsuojelu sekä yksipuolinen viljelykierto; syynä matalat tuotehinnat suhteessa panoksiin ja riskeihin. (Modags 2016a; Lobell ym. 2009; Van Ittersum & Rabbing 1997.)

Maan rakenteeseen, kasvukuntoon ja ojitukseen panostamisen tärkeys on nousemassa tärkeään osaan keinona peltolohkojen satokuilujen pienentämiseksi (Alakukku & Teräväinen 2002, 3) sekä myös kasvinviljelytilojen kannattavuuden parantamiseksi ja riskien vähentämiseksi, sillä erityisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamien suurempien sademäärien ja muiden sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen lisää viljelyn satoriskiä (IPCC 2012a). Paremman maan kasvukunnon ansiosta panoskäyttö on tehokkaampaa ja riskitöntä, sillä samalla panoskäytöllä voi saada enemmän satoa ja vähentää satovaihtelua kasvien paremman ravinteiden ja veden saannin vuoksi (Alakukku & Teräväinen 2002, 16–17).

Toisaalta ilmastonmuutoksen torjunnalle mutta myös pellon maan rakenteelle ja kasvukunnolle tärkeä eloperäisen aineksen määrä pellossa on laskenut Suomessa vuosina

1974–2009 0,2–0,4 % vuosittaista vauhtia. Tämän arvellaan johtuvan viime vuosikymmenien viljelytapojen muutoksesta, sillä viljely on muuttunut kohti yksipuolisempaa yksivuotisten kasvien viljelyä. (Heikkinen ym. 2013.) Hiilen sitominen on maa- ja metsätalousministeriön Maatalouden ilmasto-ohjelman (2014, 6) mukaan yksi maatalouden tärkeimpiä ilmastonmuutoksen torjuntakeinoja Suomessa. Pyrkimällä lisäämään elope-
räistä ainetta peltoon voidaan parantaa maan rakennetta ja kasvukuntoa, mutta toisaalta voidaan torjua myös ilmastonmuutosta sitomalla hiiltä peltoon.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida maan rakenteen ja kasvukunnon parantamiseen tähtäävien toimenpiteiden kannattavuutta. Nämä toimenpiteet tähtäävät viljelytoiminnaan taloudellisen kannattavuuden parantamiseen kestävästä tehostamisesta periaatteiden mukaisesti.

Tavoitteena on tehdä maatalousyrittäjän päätöksentekoa tukevia kustannus-, tuotto- ja investointilaskelmia sekä tuottaa tietoa maan kasvukuntoon investoimisen kustannuksista ja tuotoista. Laskelmat tehdään OPAL Life -hankkeen pilottitilojen avulla.

Tutkimuksella haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Millaisia ovat menetetyt tuotot ja miten ne muodostuvat?
- Kuinka nopeasti pellon kasvukuntoa korjaava viljelykierto ja maan rakenteen parannustoimenpiteet investointina maksavat itsensä takaisin eri satohyöty- ja hintaskenaarioilla?
- Kuinka suuri pitää lisätuotoksen olla tietyllä sadon hintatasolla, jotta maan kasvukuntoon investoiminen maksaa itsensä takaisin?

Maatalousyrittäjä pystyy helpommin arvioimaan investoinnin kannattavuutta jos käytävissä on tietoa eri skenaarioilla laskettuna, missä ajassa investointi maksaa itsensä takaisin ja arvioimaan, kannattaako investoida pellon kasvukunnon parantamiseen vai johonkin vaihtoehtoiseen kohteeseen.

Tällaisia laskelmia ei ole aiemmin laadittu tai niitä on tehty niukasti. Laskelmista tehdään esimerkinomaisia pilottitilojen avulla, ja niitä voidaan päivittää myöhemmin hankkeen tarpeiden mukaan.

2 Maan kasvukunto ja sen parantaminen

2.1 Maan rakenteeseen ja kasvukuntoon vaikuttavat tekijät

Maa koostuu kahdesta pääosasta, jotka ovat epäorgaaninen eli mineraaliaines ja orgaaninen eli eloperäinen aines (kasveista ja eläinjätteistä peräisin oleva osa) sekä näiden lisäksi maassa on vettä ja ilmaa (Rajala 2006, 51). Maan lajitekoostumus ja eloperäisen aineksen määrä ovat perusta sille, minkä tyyppinen rakenne peltomaahan voi muodostua (Alakukku & Teräväinen 2002, 11).

Maan rakenteella tarkoitetaan sen primäärihiukkasten keskinäisiä sidoksia ja ryhmittymiä sekä näiden muodostamia huokostiloja. Hiukkasten väliin jäävässä huokostossa on vettä ja ilmaa, joiden suhde vaihtelee koko ajan maan kuivuessa ja kostuessa. Se vaikuttaa kasvien kasvuun säätelemällä maan vesitaloutta, ilmavuutta ja lämpötilaa, joten sillä on myös vaikutusta mikrobien ja maaeläinten toimintaan. Suoraan kasvin kasvuun maan rakenne vaikuttaa jos maan tiiviys ja kovuus estävät orastumista ja juuriston kehitystä. (Heinonen, Hartikainen, Aura, Jaakkola & Kemppainen 1992, 90–98; Alakukku & Teräväinen 2002, 5.) Viljelylle hyvän maan rakenteen tuntomerkkejä ovat riittävä vedenläpäisykyky ja kantavuus, helposti muokkautuvuus sekä maan rakenteen veden kesto (Heinonen ym. 1992, 92).

Maan kykyä toimia viljelykasvien kasvualustana ja tuottaa satoa nimitetään perinteisesti maan viljavuudeksi tai sadontuottokyvyksi eli kasvukunnoksi. Se ilmenee maan kykynä tuottaa satoa eli sadon määränä ja laatuna. Maan luontainen kasvukyky määräytyy maan kemiallisen, fysikaalisen ja biologisen koostumuksen mukaan (Köppä 1987, 13). Keskeisintä maan kasvukunnolle on se, miten koko maa-kasvi-systeemi toimii, sillä kasvukunto on ensisijaisesti maa-kasvi-systeemin eri osapuolten välistä toimintaa; maan mineraaliaineksen, eloperäisen aineksen, pieneliöstön ja juurten sekä ympäristön välillä. (Rajala 2006, 51–53.)

Maan rakenteen ja kasvukunnon vaikutus satoon on sitä suurempi, mitä enemmän sääolot eli lämpö- ja kosteusolot poikkeavat ihanteellisista kasvuolosuhteista. Huono rakenteinen maa tarjoaa kasville hyvät kasvuolosuhteet hyvin kapealla optimikosteuden alueella eli kesän sääolosuhteiden ollessa hyvät (kasvi ei kärsi liiasta kuivuudesta tai kosteudesta), maalajilla tai maan rakenteella ei ole suurta vaikutusta satoon. (Heinonen ym. 1992, 93; Low 1973, 249.)

Maa koostuu erilaisista kerroksista: Pintakerros on biologisesti aktiivisin, siinä sijaitsee pääosa juuristosta sekä ravinteiden ja veden otosta, aineenvaihdunta on aktiivista sekä tapahtuu murustamista ja humusaineiden tuotantoa. Edellisen kerroksen alapuolella oleva pohjamaakerros eli noin muutaman kymmenen senttimetrin paksuinen kivennäismaakerros koostuu pääasiassa rapautuvasta kiviaineksesta. Se on maaperän vesi- sekä ravinnevarasto, sillä maan ravinteet vapautuvat kasveille käyttökelpoiseen muotoon hitaasti kemiallisen, fysikaalisen ja biologisen vapautumisen avulla. Näiden kerrosten alla on vielä suuri rapautumaton ja hitaasti käyttöön tuleva ravinnevarasto eli peruskivennäisainekerros.

Karkeasti jaettuna voidaan puhua myös muokkauskerroksesta, jankosta ja pohjamaasta. Perusmuokkaus- eli ruokamultakerros on noin 0–25 cm:n paksuinen pintakerros, jossa on eloperäistä ainetta enemmän kuin syvemmissä kerroksissa. Jankko on perusmuokkauskerroksen alapuolinen kerros, jonka paksuus on noin 10–15 cm. Jankon rakenne on usein tiiviimpi kuin ruokamultakerroksen tai pohjamaan, joka on jankon alapuolinen maa. (Alakukku & Teräväinen 2002; 31, 95–96.)

Maan kasvukuntotekijät ja ominaisuudet voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan, jotka ovat biologinen, fysikaalinen ja kemiallinen. Näiden ominaisuuksien välillä vallitsee voimakas vuorovaikutus, minkä vuoksi eri tekijöiden osuutta tai merkitystä maan tuotokyvyn kannalta on mahdotonta tarkasti erottaa. (Heinonen ym. 1992, 50.)

2.1.1 Biologiset tekijät

Biologiset tekijät kuten pieneliöstö, juuret, juurieritteet ja eloperäinen aines tekevät maan ylimmästä osasta elävää ruokamultaa eli maata, jossa kasvin on hyvä kasvaa; ravinteikasta ja sisältää kasville hyödyllistä biologista aktiivisuutta.

Maa sisältää pieneliöstöä eli erilaisia bakteereita, sädesieniä, sieniä, leviä, hyppyhäntäisiä ja lieroja. Pieneliöstö kierrättää kasvi- ja eläinjätteisiin sitoutuneet aineet takaisin luonnon kiertokulkuun ja edelleen kasvien käyttöön. Samalla rakentuu ja muodostuu uusia ja hyödyllisiä viljavuustekijöitä; lima-aineita maan mururakenteen lujittamiseen, humusta ruokamullan rungoksi ja hiilidioksidia kasvien lehtiin nopeuttamaan yhteyttämistä. Riittävän vilkas hajoitustoiminta estää myös monien tautien leviämistä. Pien-

eliöstön lajirunsaus hyvä laatuissa maassa on suuri. Maanviljelyn kannalta merkittäviä yksittäisiä pieneliöryhmiä ovat mm. lierot, sienijuuria muodostavat sienet ja typensitojamikrobit.

Eri kasvien juuriston määrä ja tiheys sekä syvyys vaihtelevat suuresti. Runsaasti juurimassaa tuottavat kasvit kuohkeuttavat maata, lisäävät maahan eloperäistä ainetta ja aktivoivat maan pieneliötoimintaa. Juuret sitovat maata muruiseksi hiusjuurien ja juurikarvojen avulla sekä juurten kuollessa, jää maahan jatkuvia reikiä eli juurikanavia. Mikäli juurikanavia on riittävästi, maa läpäisee hyvin liian sadeveden. Juurikanavia ja lierojen kaivamia käytäviä myöten seuraavan vuoden kasvin juurten on myös helppoa kasvaa maahan ja myös maan kaasujen vaihto tapahtuu joutuisasti. Vahvajuuriset eli maan rakennetta parantavat kasvit (esim. apila) kykenevät kasvamaan tiiviiseenkin maahan.

Juuret erittävät juurieritteitä, jotka auttavat kasvia mm. ravinteiden saannissa maasta sekä ne toimivat myös pieneliöstön ravintona. Juurten pinnalla ja niiden välittömässä läheisyydessä on pieneliöstöä kymmeniä kertoja muuta maata enemmän. Tämän juuristovyöhykkeen eli ritsosfäärin pieneliöstö auttaa kasvia mm. ravinteiden saannissa ja suojaa taudeilta. Juurten toiminta onkin tärkeä maan murustumista lisäävä ja rakennetta parantava tekijä.

Juuriston jatkeena kumpaakin osapuolta hyödyttävässä symbioosissa voi useimmilla kasveilla toimia myös sienijuuri (mykorritsa). Sienten rihmat kasvavat myös juurten ulkopuolelle jopa 10 cm juurta kauemmas ja juurikarvoja pienempiin maan huokosiin keräten kasvin käyttöön ravinteita ja vettä. Sienijuuri sitoo maahiukkasia muruiksi, joten se on myös merkittävä maan hyvän rakenteen ylläpidon ja eroosion eston kannalta.

Lierojen merkitys maan kasvukunnolle on suuri. Suuri aktiivisesti toimiva lierokanta on eräs biologisesti aktiivisen maan tunnusmerkki. Lierot käyttävät ravinnokseen kuollutta kasvimateriaalia ja lantaa sekä maaperän kivennäisainekseen sitoutuneita ravinteita vapautuu kasveille hyödyllisessä muodossa lierojen toimesta. Lierojen lanta on monin verroin ravinteikkaampaa kuin ympäröivä multa tai maa sekä lannan pH on lievästi emäksistä, joten lierot auttavat myös pellon pH:n säilyttämisessä. Suomen noin 20 eri mato- eli lierolajista yleisimmät lierot ovat peltoliero, kasteliero ja onkiliero. Peltoliero tekee pääsääntöisesti vaakasuoria käytäviä ja kasteliero pystysuoria. Lierot myös kaivavat käytäviä sekä ruokamultakerrokseen että pohjamaahan. Näitä käytäviä myöten ilma vaihtuu maassa helposti, sadevesi imeytyy hyvin ja jankko läpäisee liian sadeveden sa-

laojiin. Lierojen määrä vaihtelee noin 10 kg:sta 1 000 kg:aan hehtaaria kohti eli 2–200 kpl/m². (Rajala 2006, 53–63.)

Eloperäisen aineksen lisääminen maahan ja suotuisien olosuhteiden luominen maan biologiselle aktiivisuudelle ovat tärkeimmät avaintekijät kestäväan kasvintuotantoon (Ball, Bingham, Rees, Watson & Litterick 2005, 559–568). Orgaaniseen aineeseen kuuluu kaikki maan sisällä ja pinnalla oleva kuollut kasveista tai eläimistä peräisin oleva aines, niiden orgaaniset hajotustuotteet sekä niistä syntetisoitu aines. Orgaanisen aineksen laatu ja määrä vaikuttavat tuntuvasti maan fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin (Heinonen ym. 1992, 44–50); orgaaninen aines suojaa maan pintakerrosta, parantaa maaperän eliöstön elinolosuhteita ja aktiivisuutta pitää maan muruisena ja kuohkeana sekä helpottaa maan kaasujen vaihtoa, tarjoaa sopivan ympäristön juurten kasvulle, varastoi ravinteita ja luovuttaa niitä kasvien käyttöön, varastoi kolme kertaa oman painonsa vettä, vähentää eräiden haitallisten aineiden ja maan happamuuden haittavaikutuksia (Rajala 2006, 64). Maan helposti hajoava orgaaninen aines toimii kasviraavinne varastona, josta vapautuu epäorgaanisia suoloja ja hiilidioksidia uuden kasvillisuuden käyttöön (Heinonen ym. 1992, 44–50).

Rajalan mukaan (2006, 72) multavuuden lisääntyessä ravinteiden varastointikyky kasvaa. Eloperäinen aines on myös tärkeä tekijä kestäväan mururakenteen ja kuohkeuden saavuttamisessa. Se parantaa maanmuokkautuvuutta sekä maan tiivistymisen kestävyyttä. Runsaammin eloperäistä ainetta sisältävissä maissa pieneliöt viihtyvät hyvin ja maan viljely on helppoa, kun taas vähämultaisen maan viljely vaatii suurta tarkkuutta esimerkiksi töiden ajoittamisessa ja lannoituksessa.

Hitaasti hajoava eloperäinen aines muodostaa maassa ruokamullan perusaineksen ja helpottaa viljelyä monin tavoin. Multavuuden lisääntyessä myös maan kastelutarve vähenee, koska veden varastointikyky lisääntyy useimmilla maalajeilla multavuuden kasvaessa. Vastaavasti kalkitus- ja lannoitustarve vähenevät maan eloperäisen aineksen määrän noustessa ja ravinteet säilyvät erityisesti karkeissa maissa paremmin turvassa huuhtoutumiselta eloperäisen aineksen avulla. (Rajala 2006, 63–65.)

2.1.2 Fysikaaliset tekijät

Maan fysikaalisia kasvukuntotekijöitä ovat mm. rakenne, ilmavuus, lämpimyys, vesitalous ja maalaji (Rajala 2006, 65). Maan liika tiivistyminen ja eroosio ovat maan rakenteen yleisiä ongelmia (Heinonen ym. 1992, 130–137).

Hyvän kasvukunnon omaavan maan tärkeä tunnuspiirre on sen muruisuus ja siitä seuraava huokoisuus. Murut ovat alle 20 millimetrin kokoisia maan primäärihiukkasista muodostuneita yhteenliittymiä. (Alakukku & Teräväinen 2002, 96.) Varsinkin savi- ja hiesumailla muruisuus ja huokoisuus ovat ratkaisevan tärkeitä maan kasvukunnolle, sillä murustuminen tasoittaa eri maalajien erilaisia viljelyominaisuuksien eroja parantamalla viljelyvarmuutta sekä maan vesitaloudelle ja kaasujen vaihdolle murujen väliin syntyvien huokosten jatkuvuus ja ilmavuus on erityisen tärkeää. (Rajala 2006, 67–69.)

Maahiukkasia liittävät yhteen savihiukkasten kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Flokkirakenteen eli löyhän mururakenteen syntyminen on monitahoinen ja monista eri ilmiöistä koostuva prosessi; veteen hajautuneet primäärihiukkaset takertuvat toisiinsa kiinni kolloidikemialliseksi saostumisilmiöksi kutsutun ilmiön seurauksena. Normaalaa tiiviimpi muruinen mikrorakenne hiukkasten välille syntyy vain jos maa kuivuu lähelle lakastumisrajaa, jotta vesikalvon pinta jännitys puristaa hiukkaset lähelle toisiaan. (Heinonen ym. 1992, 93–94.) Vettä hyvin kestävän pyöreiden murujen rakenteen lujittajana toimivat myös kasvien juuret, sienirihmasto ja bakteerien tuottamat lima-aineet sekä lierot (Rajala 2006, 69).

Maan lämpimyys on kasvien kasvulle tärkeää, sillä kasvien kasvu alkaa keväällä vasta kun vuorokauden keskilämpötila nousee pysyvästi yli 5 °C:een ja pieneliöiden toiminta alkaa kunnolla vasta kun keskilämpötila nousee pysyvästi yli 8 °C:een. Lämpimyys vaikuttaa juurten kykyyn ottaa ravinteita maasta, sillä ravinteiden vapautuminen kasvien käyttöön riippuu maan lämpötilasta. (Rajala 2006, 71.)

Pellon toimivalla vesitaloudella (maa läpäisee hyvin vettä) on suuri merkitys saatavaan satoon, koska peltojen hyvä kuivatus ja lämpeneminen nopeuttavat keväällä kylvötoihin pääsemistä jopa monella viikolla, joka on Suomen lyhyen kasvukauden takia tärkeää. Myös runsaiden sadevesien tulee päästä nopeasti pois pelloilta, jotta maassa säilyisi hyvä hapen saanti kasvien juurille ja pieneliöille. Liian kostea maa ei myöskään kanna koneita tarpeeksi hyvin ja maa saattaa tiivistyä. Hyvärakenteinen maa myös varastoi

runsaasti vettä paitsi murujen väleihin myös murujen ja kokkareiden sisään. (Rajala 2006, 70.)

Maan tiivistymisellä tarkoitetaan maan ilmatilan puristumista pienemmäksi. Maan tiivistymisellä peltoliikenteen yhteydessä tarkoitetaan lyhytaikaisen liikkuvan kuorman aiheuttamaa tiivistymistä. Liasta tiivistymisestä on suurta haittaa maan kasvukunnolle, sillä vesitalouden toiminta ja juurten kasvu huononevat mekaanisen vastuksen takia. (Heinonen ym. 1992, 130–137.)

Vesieroosio on luonnonilmiö, joka voi ihmistoiminnan seurauksena voimistua, minkä takia ravinteikas pintamaa voi kulkeutua pellolta pois. Eroosion tärkeimmät aiheuttajat ovat voimakkaat sateet, pinnanmuodostus, maaperän vähäinen orgaaninen aines, ilmasto- ja sääolot, sateiden rankkuus, maan pinnan kaltevuus ja vähäinen kasvipeitteisyys, maalajit sekä viljelykäytäntö (Luke 2016a; Toukoluoto & Peltonen 2015, 44–45).

Maalaji vaikuttaa maan viljavuuteen merkittävästi; mm. maan rakenteeseen, ravinteisuuteen, ravinteiden varastointikykyyn, vesitalouteen ja lämpimyyteen sekä muokkautuvuuteen. Maalajit voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan, jotka ovat savimaat, karkeat kivennäismaat ja eloperäiset maat. Maalaji määräytyy maan hiukkaskoon ja sen jakauman (lajitekoostumuksen) perusteella. (Rajala 2006, 66) Maalaji ja maan rakenne vaihtelevat pellon sisällä ja maan syvyysuunnassa (Alakukku & Teräväinen 2002, 9).

Savimaita ovat aito-, hieta-, hiesu- ja hiesavi sekä hiesut. Savi- ja hiesumaissa hiukkas- set ovat pieniä ja rakenne on yleensä melko tiivis sekä ne läpäisevät vettä vain hyvin hitaasti ja tarvitsevat siksi erittäin hyvän ojituksen ja maan rakenteen. Savimaissa on runsaasti ravinteita ja aitosavi on hyvää viljelymaata, mikäli sen multavuus ja rakenne ovat riittävän hyviä, mutta on tärkeää ajoittaa viljelytyöt oikean kosteustilan aikaan. (Rajala 2006, 65–67.) Tiivistä massiivista rakennetta esiintyy kaikkien hienojen maalajien syvemmissä kerroksissa, joten massiivisen rakenteen toiminta on mahdollisten halkeamien, juurikanavien ja madonreikien varassa (Heinonen ym. 1992, 92).

Karkeita kivennäismaita ovat hieno ja karkea hieta, hiekka sekä moreenimaat. Hienojen hietojen vahvimpia puolia on hyvä helppo muokkautuvuus ja poudankestävyys, joka johtuu veden riittävän nopeasta kapillaarisesta noususta kasvien käyttöön sekä ne ovat ravinteisuudeltaan hyviä. Karkeiden hieta- ja hiekkamaiden huonoja puolia puolestaan ovat poudanarkuus ja vähäinen ravinteisuus sekä heikko ravinteiden varastointikyky,

mutta niiden rakenne on hyvä ja viljely helpompaa kuin savimailla. (Rajala 2006, 65-67) Karkeiden kivennäismaiden rakenne ei yleensä aiheuta ongelmia, vaikka niiden primäärirakeet esiintyvät enimmäkseen irrallisina tai vain sekundäärisiksi rakenneosiksi eli aggregaateiksi ryhmittyneinä. Syvemmällä maassa hiukkasrakenne on yleensä iskostunut haitallisen kovaksi. (Heinonen ym. 1992, 90.)

Pelkkä turve soveltuu peltoviljelyyn yleensä melko huonosti, mikä johtuu epäedullisista fysikaalisista ominaisuuksista. Kasvukausi jää turvemaalla lyhyemmäksi kuin kivennäismaalla. (Köppä 1987, 132.) Eloperäistä maata yli 20 prosenttia sisältävät multa- ja saraturvemaat ovat yleensä ravinteikkaita typin suhteen, mutta rahkaturpeet ovat puolestaan kylmiä ja niukkaravinteisia. Ravinteiden varastointikyky on huono ja pieneliötoiminta heikkoa. Eloperäisillä mailla ensisijaisesti pieneliötoimintaa, ravinteiden varastointikykyä ja lämpimyyttä tulee pyrkiä lisäämään. (Rajala 2006, 67.)

2.1.3 Kemialliset tekijät

Maan happamuus eli pH vaikuttaa maan biologiseen aktiivisuuteen; pieneliötoimintaan, kasvinravinteiden liukoisuuteen, maan murustumiseen, eloperäisen aineksen hajoamiseen ja humuksen syntyyn ja edelleen kasvien kasvuun. Suomen maaperästä johtuen suomalaiset pellot ovat yleensä hyvän kasvukunnon kannalta liian happamia. (Rajala 2006, 73.) Eri viljelykasvien kasvun optimaaliset pH-arvot poikkeavat jonkin verran toisistaan, mutta Suomessa viljeltyjen kasvien optimaaliset pH-arvot ovat noin 6-7. Typpisitojabakteerit toimivat tehokkaasti vasta neutraalissa ympäristössä. (Köppä 1987; 134, 143.)

Maan ravinteisuus koostuu maanesteeseen liuenneista vesiliukoisista ravinteista, maahiukkasten pinnalla tai saveksen hilaväleissä olevista vaihtuvista ravinteista ja suhteellisen nopeasti kasvien käyttöön saatavista ravinnereserveistä sekä maaperän kokonaisravinteista. PH:n noustessa kivennäismaiden ravinteiden varastointikyky kasvaa; viljava maa pystyy varastoimaan suuria määriä ravinteita niin, että ne ovat suhteellisen helposti kasvien käytettävissä, mutta turvassa huuhtoutumiselta. (Rajala 2006, 73.)

Kationinvaihtokapasiteetti kuvaa maan kykyä varastoida liukoisia ravinteita maahiukkasten kiinnityspinnoilla (Toukoluoto & Peltonen 2015, 28).

Kasvien juuret toimivat parhaiten suhteellisen alhaisessa maan suolapitoisuudessa, jolloin juurten kyky ottaa ravinteita on tehokkaimmillaan ja veden saanti helpointa. Myös maan kasvukunnolle hyödyllinen pieneliötoiminta tapahtuu parhaiten melko alhaisessa suolapitoisuudessa. (Rajala 2006, 73.)

2.2 Maan kasvukunnon parantamiseen tähtäävät toimenpiteet

Pellon kasvukunnon ollessa heikko on aluksi ryhdyttävä pellon peruskunnostustoimiin ja sen jälkeen monipuolistettava viljelykiertoa, jotta ongelmat pellon kasvukunnossa eivät uusiutuisi. (Toukoluoto & Peltonen 2015, 16.)

Maanparannuksella tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla pysyvästi vaikutetaan maan kasvuun. Maanparannus ei tarkoita toistuvaa lannoitusta eli se ei edellytä ravinteiden lisäämistä maahan, mutta se voi vaikuttaa kasvin ravinteiden saantiin vapauttamalla maan omia ravinnevaroja kasvin käyttöön tai tehostamalla lannoituksen vaikutusta. Tässä tutkielmassa myös biologinen typensidonta luetaan kuuluvaksi maanparannukseen osana viljelykiertoa (ks. luku 2.2.2).

Maanparantamisella pyritään parantamaan maan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia kasvukunnolle edullisempaan suuntaan. Fysikaalisella maanparannuksella voidaan korjata maan kasvukunnon puutteita, joita ovat esimerkiksi maan heikko vedenpidätyskyky, huono ilmavuus ja juurten kasvua rajoittava liika tiiviys. Kemiallisella maanparannuksella voi parantaa mururakennetta, maan pH:ta ja ravinteiden saantia. Maanparannuksesta ei ole hyötyä, jos maan kasvukunto on jo valmiiksi hyvä. (Köppä 1987, 129.)

Huonorakenteisen maan parantaminen vaatii panostusta useampaan kuin yhteen maan rakennetta korjaavaan toimenpiteeseen. Toimenpiteillä tulisi tavoitella pitkäaikaista hyötyä, koska investointien mittavuus jo yleensä edellyttää sitä. (Toukoluoto & Peltonen 2015, 23.)

Maanparannukseen tähtääviä toimenpiteitä ovat mm. mekaaninen syväkuohkeutus, kalitus, erilaiset maanparannusaineet ja kunnostuskasvit. Myös monipuolinen maan rakenteen parantamiseen tähtäävä viljelykierto luetaan tässä tutkimuksessa maan kasvukuntoa parantavaksi toimenpiteeksi. Ennen edellä mainittuja toimenpiteitä pitää huoleh-

tia, että pellon muu vesitalous (ojitus) on teknisesti kunnossa (Toukoluoto & Peltonen 2015, 23).

2.2.1 Peruskunnostustoimenpiteet

Mekaanisella syväkuohkeutuksella eli jankkuroinnilla pyritään rikkomaan tiivistynyt muokkauskerroksen alapuolinen maa (esimerkiksi jankko), joka huonontaa maan ominaisuuksia sekä heikentää kasvien kasvua ja ravinteiden ottoa. Jankkurointi ei sekoita maakerroksia keskenään. Mekaanisella syväkuohkeutuksella ei kuitenkaan monien eri tutkimusten mukaan ole varmaa suoraa vaikutusta pellostä saatavaan satoon ja ulkomaiset tutkimustulokset ovat olleet vaihtelevia. Karkeilla mailla jankon rikkominen voi kuitenkin olla ainut vaihtoehto parantaa maan viljeltävyyttä. Kuohkeutetun maan rakenteen tulisi antaa vakiintua rauhassa, jotta se kestäisi viljelystä aiheutuvan peltoliikenteen, joten pelto olisi hyvä jättää monivuotiselle viherkesannolle kuohkeutuksen jälkeen. Jankkurointia pitäisi ajatella kertatoimenpiteenä, eikä osana toistuvia viljelytoimenpiteitä. (Alakukku & Elonen 1997; Alakukku & Teräväinen 2002, 68.)

Syväkynnössä kynnetään normaalia muokkausta syvempää. Syväkyntö sekoittaa maakerrokset keskenään ja se soveltuu jankkurointia paremmin savimaille. (Alakukku & Teräväinen 2002, 68.)

Kalkitus on maanparannustoimenpide, jolla on vuosia kestävä vaikutus peltoviljelyssä (Turkki 2006, 22). Se on keino maan liian happamuuden vähentämiseksi, kun kalkituksen tarve on olemassa eli kun maa on happamampaa kuin viljeltävän kasvin mahdollisimman hyvä kasvu edellyttää. Kalkitsemisessa pH:n nosto perustuu kalsiumin yhteydessä olevaan ioniin, kuten karbonaattiin tai hydroksidiin, ja sen kykyyn pidättää happamoittavia vety-ioneja. (Joona 2012, 58.) Pellolle levitettäviä yleisiä kalkitusaineita ovat mm. kalkkikivijauhe (kalsiumkarbonaatti), puriste-, silikaatti-, dolomiitti-, liejukalkki, kuona ja apatiitti (Turkki 2006, 22–23).

Peruskalkitus tarkoittaa kalkitusta, jolla pyritään vähentämään maan happamuutta viljeltävien kasvien kannalta optimitasolle. Peruskalkituksen määrän tarpeen voi arvioida maan pH-arvon ja kalsiumluvun perusteella. Täydennys- eli ylläpitokalkituksen tarkoitus on korjata viljelyn aiheuttamaa maan happamoitumista, minkä tarve riippuu viljely-

kasvista ja käytetystä lannoituksesta; väkilannoitteet happamoittavat ja karjanlanta neutralisoi. Myös maalaji ja multavuus vaikuttavat kalkituksen tarpeeseen. Kalkituksessa peltoon lisätään myös ravinteita (mm. kalsium, magnesium) maahan, joten sillä on myös useita vuosia kestävä lannoitusvaikutus. (Köppä 1987, 134–144.)

Rakennekalkituksella tarkoitetaan pellon kalkitsemista sammuttamattomalla kalkilla eli kalsiumoksidilla sekä sammutetulla kalkilla eli kalsiumhydroksilla. Rakennekalkitus vaikuttaa nopeammin ja tehokkaammin maan rakenteeseen murustamalla maata. (Joona 2012, 56–58.)

Kalkin lisäksi muita maanparannusaineita ovat myös esimerkiksi biotiitti ja kipsi (Farmit 2016a) sekä erilaiset orgaanista ainetta peltoon lisäävät ja myös ravinnehuuhtoumaa vähentävät maanparannuskuidut ja orgaaniset lannoitevalmisteet, joita esimerkiksi teollisuus tuottaa sivuaineena (Joona 2011; Toukoluoto & Peltonen 2015, 19).

Maata parantavalla viherlannoitusnurmella tarkoitetaan kasvustoa, jolla pyritään parantamaan maan kasvukuntoa sadon tuottamisen sijasta yhden tai useamman kasvukauden ajan. Viherlannoitusnurmen lisääminen viljelykiertoon (ks. luku 2.2.2) parantaa maan multavuutta ja ravinteiden kiertoa tehokkaasti. Viherlannoitusnurmen hyödyt syntyvät maan rakenteen parantumisella (maan biologinen kuohkeutus) ja typensitojakasvien typpilannoitusvaikutuksen myötä. Suosimalla viherlannoitusnurmessa syväjuurisia kasveja kuten puna-apilaa, sinimailasta ja ruokonataa saadaan parannettua ja ylläpidettyä maan rakennetta muokkauskerrosta syvemmältä. Syväjuuriset kasvit pumppaavat ravinteita syvemmältä pintamaahan satokasvien käyttöön. Juuren hajotessa maahan jää pysyviä käytäviä, joita pitkin vesi, ilma sekä kasvien juuret pääsevät kasvamaan helposti syvemmälle maahan. (Kleemola 2013, 2–6.) Kunnostuskasvien kuten viherlannoitusnurmen aikana pellolle voidaan tehdä myös muita kunnostustoimenpiteitä kuten ojitusta ja tiivistymien kuohkeutusta (Toukoluoto & Peltonen 2015, 23).

Alus- ja kerääjäkasvit ovat satoa varten kasvatettavan viljelykasvin kasvuston alla samaan aikaan kasvavia viherlannoituskasveja. Ne sitovat ravinteita, lisäävät eloperäistä ainetta ja vähentävät rikkaruohojen määrää sekä suojaavat satokasvin korjuun jälkeen maan rakennetta eroosiolta. (Kleemola 2013, 2–6.)

2.2.2 Viljelykierto

Viljelykiertoa käytettäessä viljellään samalla lohkolla vuorovuosina eri kasvilajeja tietyn suunnitelman mukaan (Rajala 2006, 104). Viljelykierrolle on luonteenomaista tietty toistuva ja syklinen eli kiertävä ajanjakso, jonka pituus määräytyy lohkolla vuorotellen viljeltävien kasvilajien määrästä ja niiden viljelyjärjestyksestä (Dury, Schaller, Garcia, Reynaud & Bergez 2011, 569).

Viljelykiertojen käytännön toteutus tehdään usein peltolohkojen jaon kautta. Kierrot voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että viljelijä jakaa peltopinta-alan yhtä moneen osaan kuin viljelykierrossa on eri kasveja. Jokaisella lohkolla viljellään yhtä näistä kasveista ja lajikkeen vaihto tapahtuu viljelykiertosuunnitelman määräämässä järjestyksessä. Viljelylohkot pyritään mahdollisuuksien mukaan tekemään samankokoisiksi pinta-alaltaan, jottei yksittäisen kasvin vuotuinen viljelyala vaihtelisi huomattavasti. Yhdellä tilalla voi myös olla käytössä useampi viljelykierto ja niille varatut lohkot jos esimerkiksi maalaji vaihtelee selkeästi tilan alueella. (Ryynänen & Pölkki 1982, 131–132.)

Viljelykierrot voidaan karkeasti jakaa kahteen luokkaan, jotka ovat lyhyet yksipuoliset viljelykierrot ja pitkät monipuoliset viljelykierrot (Karlen, Varvel, Bullock & Cruse 1994, 2–9), sekä viljelykiertoja voidaan myös luokitella toistuvuuden mukaan; samanalaisina useita kertoja peräkkäin toistuvat viljelykierrot ovat syklisiä sekä pysyviä, vuosien mittaan muuntuvat viljelykierrot ovat mukautuvia (Rodriguez, deVoil, Power, Cox, Crimp & Meinke 2011, 159–161). Viljelykiertoa käytetään mallintamaan viljelysuunnitelman ajallista ulottuvuutta (Dury ym. 2011, 569).

Viljelykierron eli kasvinvuorottelun päätavoite on estää yksipuolisen viljelyn haittavaikutukset: maan rakenteen, multavuuden ja kasvukunnon heikkeneminen sekä rikkakasvien, kasvitautien ja tuholaisten lisääntyminen (Rajala 2006, 105). Bennettin, Bendingin, Chandlerin, Hiltonin ja Millsin (2011, 52–53) mukaan onkin yleisesti tiedossa, että viljelykierron harjoittaminen auttaa parantamaan maan rakennetta sekä estämään eri kasvitautien, tuholaisten ja rikkakasvien kasvua ja siten estämään lyhyiden viljelykiertojen harjoittamisen ja monokulttuurin aiheuttamia satomenetyksiä verrattuna pitkiin viljelykiertoihin.

Maanviljelyksessä viljelykiertoja on hyödynnetty jo tuhansien vuosien ajan. Monipuoliset viljelykierrot olivat tavallisia ennen 1900-luvun puolivälin vihreää vallankumousta,

jonka myötä viljelijöiden saataville tuli uusia lajikkeita, kasvinsuojeluaineita ja typpilannoitteita sekä maatalous koneellistui, tilakoko kasvoi ja tuotanto tehostui. Tämä kehitys johti viljelykiertojen lyhenemiseen tai ne muuttuivat monokulttuureiksi. (Karlen ym. 1994, 2-10.)

Yksipuolinen viljely

Yksipuolisessa viljelyssä eli monokulttuurissa harjoitetaan viljelyjärjestelmää, jossa viljellään vuosittain peräkkäin samoja kasveja samalla loholla (Bennett ym. 2011, 53).

Shipton (1977, 388) määritteli monokulttuurisen viljelyyn kuuluvia viljelytapoja: kasvinviljelytapa, jossa viljellään identtisiä (eli fysiologisesti samankaltaisia) kasveja vuosittain peräkkäin ilman muiden kasvien keskeytystä; kasvin peräkkäin viljelyn lomassa on ”kierrossa” toistuvasti väliajoin avokesantoja (esimerkiksi vehnä/kesanto kierto) ja monivuotisten (esim. nurmi) kasvien lyhyt syklinen viljely ja jälleen uudistaminen.

Maksimoidakseen kierron tuottoa ja kompensoidakseen monipuolisen viljelykierron hyötyjen hyödyntämättä jättämistä, yksipuolisissa tavanomaisissa viljelykierroissa käytetään enemmän ulkoisia tuotantopanoksia kuten kasvinsuojeluaineita ja kemiallisia lannoitteita (Bennett ym. 2011, 53; Ball ym. 2005, 558).

Yksipuolisesta viljelystä johtuvaa sadon vähentymistä selitetään usein maaperän hedelmällisyyden ja tuottavuuden laskulla eli ravinteiden köyhtymisellä sekä maan rakenteen heikkenemisellä, mutta yksipuolinen viljely aiheuttaa näiden lisäksi myös kasvintuhoojaperäisiä satotappioita (Shipton 1977, 388; Toukoluoto & Peltonen 2015, 31–39).

Viljelykierto kasvukunnon ylläpitäjänä

Viljelykierrosta on monia biologisia hyötyjä pellon kasvukunnolle. Se ylläpitää ja parantaa maan kasvukuntoa, lisää maan multavuutta sekä parantaa ruokamultakerroksen mururakennetta, pohjamaan vedenläpäisevyyttä, pellon monimuotoisuutta sekä ekologista kestävyyttä. Se sitoo ilmakehästä typpeä (biologinen typensidonta), helpottaa rikakasvitilanteen hallintaa, ehkäisee kasvitautien ja tuholaisten lisääntymistä sekä pienentää sää- ja tautiriskejä. Pidemmällä aikavälillä viljeltyjen kasvien yhteisvaikutus eli viljelykiertovaikutus ratkaisee sen, mille tasolle maan kasvukunto asettuu. (Rajala 2006, 107–111.)

Viljelykierron yksi perustehtävä on maan kasvukunnon säilyttäminen. Tämän takia viljelykiertoon sisällytetään katkaisemaan vähäjuuristen viljojen kiertoa syvä- ja runsasjuuristoisia kasveja, jotka parantavat maan multavuutta, ruokamultakerroksen muruisuutta sekä pohjamaan rakennetta. (Rajala 2006, 106.) Hyvärakenteisen maan huokostilassa vesi ja ilma pääsevät liikkumaan ja juuret kasvamaan. Hyvin kasvavat juuret ottavat maasta runsaasti ravinteita, eikä ravinteita huuhtoudu vesistöihin. Juuret ovat myös tehokkaita maan rakenteen parantajia, sillä ne tekevät maahan reikiä, kuivattavat maata ja tuovat maahan eloperäistä ainesta. Juurten kasvu ja maaperäeliöstön toiminta muokkaavat maata biologisin keinoin. Biologinen muokkaus vaikuttaa niin syväälle kuin juuret ja maaperäeliöt ulottuvat. (Myllys, Gustafsson, Koppelmäki, Känkänen & Palojarvi 2014, 3–7.) Juurten ritsosfäärissä (juuren lähetyvillä oleva alue) on paljon mikrobitoimintaa, jonka seurauksena maaperään syntyy esimerkiksi juurieritteitä kuten mikrobiomassaa ja sienijuurta, jotka puolestaan edesauttavat maamurujen muodostumisessa (Ball ym. 2005, 562–565). Syväjuuriset kasvit myös hyödyntävät ravinteita maaperän varastoista (Rajala 2006, 106).

Kasvukunnon ylläpidossa on tärkeää, että sopivanlaatuista eloperäistä ainetta on jatkuvassa kiertokulussa mukana riittävästi, sillä orgaaninen eli eloperäinen aines on kasvukuntoisen maan olennaisin osa (Heinonen 1992, 44). Hyvään maan rakenteeseen tähtäävässä kasvintuotannossa on tärkeintä maksimoida eloperäisen aineksen kertymä, sillä viljelykierrossa kertyvä eloperäisen aineksen määrä on tärkeämpää maan rakenteelle kuin se, minkälaista viljelyjärjestelmää harjoitetaan. Viljelykierrossa mukana olevat viherlannoitusnurmet sekä paljon juurimassaa maaperään tuovat viljelykasvit lisäävät eloperäisen aineksen määrää. Orgaaninen eli kasviperäinen aine hajoo mikrobitoimin-

nan myötä ja jää maaperään tai päättyy liukoisina ravinneioneina kasvien käyttöön tai kulkeutuu pois pellolta. (Ball ym. 2005, 559–568.)

Monimuotoisuudella tarkoitetaan pellossa elävien, siitä ravintonsa saavien tai siellä tavattavien eläin-, kasvi-, hyönteis- ja mikrobistolajien moninaisuutta sekä pellon monimuotoisuuteen kuuluu myös viljelykasvien geneettinen ja lajimääräinen monimuotoisuus. Viljelykierto ja viljelykasvilajiston lisääminen auttavat peltojen monimuotoisuuden lisäämisessä ja säilyttämisessä. (Keskitalo ym. 2006, 1–2.) Maataloudessa käytettävien tehokkaiden viljelymenetelmien tehostumisen on havaittu johtavan pellolla elävien tai sieltä ravintonsa saavien eliöryhmien vähentymiseen eli monimuotoisuuden vähenemiseen. Monimuotoisessa viljelyssä pyritään edistämään pellolla tavattavien eläin-, kasvi-, hyönteis-, mikrobilajien sekä maaperäeläintenkirjoa ja erityisesti halutaan ylläpitää sellaisia eliöryhmiä, joita tarvitaan peltoekosysteemin biologisten prosessien toimintaan. Näistä huolehtiminen onkin edellytys pellon kasvukyvylle ja viljelyvarmuudelle sekä ekologiselle kestävyydelle. (Salonen, Keskitalo & Segerstedt 2007, 87.) Esimerkiksi sienijuuresta suuresti hyötyvän kasvin esikasviksi kannattaa valita sieniä lisäävä kasvi ja välttää sienijuurta vähentävän kasvin käyttöä. (Rajala 2006, 107.)

Biologinen typensidonta perustuu tiettyjen bakteerien ja kasvien muodostamaan symbioosiin. Biologisessa typensidonnassa eräät pieneliöt pystyvät muuttumaan ilmakehän tyyppä kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Tärkeimmät ja tehokkaimmat typensitojapieneliöt ovat palkokasvien juuriin nystyröitä muodostavat *Rhizobium* -juurinysträbakteerit. Kasvin alkaessa kasvaa se alkaa erittää juuristaan eritteitä, jotka vetävät puoleensa maassa eläviä bakteereita. Bakteeri tunkeutuu hiusjuureen ja saa aikaan äkämän eli nystyrän kasvun. Nystyrässä bakteerit lisääntyvät ja muuttuvat typensidontaan kykenevään muotoon. Apilan, herneen, pavun ja muiden palkokasvien juurinysträbakteerit ovat typensidontakyvyltään tehokkaimpia. Puna-apila voi sitoa tyyppä noin 150–250 kg hehtaaria kohti vuodessa ja herne noin 50–150 kg. Maassa elää myös muita bakteereita ja leviä, jotka voivat sitoa tyyppä noin 2–30 kg/ha. (Rajala 2006, 61.) Palkokasvit ovat näin typpiomavaraisia eivätkä tarvitse kasvaakseen tyyppä maaperästä. Palkokasvit ovatkin maanparannuskasveja, jotka valmistavat maaperää muille kasveille tuomalla maahan tyyppä ja eloperäistä ainesta. (Rajala 2006, 106.)

Esikasvivaikutus tarkoittaa, että edellisen vuoden kasvi eli esikasvi vaikuttaa merkittävästi seuraavana vuonna viljeltävän kasvin kasvuun ja saavutettuun satoon. Oikean esi-

kasvin valinta on tärkeää, sillä jotkin kasvit parantavat ja jotkin heikentävät seuraavan kasvin kasvua. Viljelykasvit eroavat toisistaan esimerkiksi maaperän kuluttavuuden tai parantavuuden, biologiseen typensidontaan pystyvyyden, sadonkorjuun jälkeen maahan jäävän orgaanisen aineksen määrän ja sienijuurta lisäävän tai vähentävän vaikutuksen kautta. (Rajala 2006, 105–111.) Sadonlisää esikasvivaikutuksesta voidaan odottaa, jos esikasvi parantaa maan rakennetta, lisää seuraavan satokasvin ravinteiden saantia tai vähentää kasvintuhoojapainetta. Useimpien viljelykasvien peräkkäisviljelyä rajoittavat suositukset perustuvat kasvintuhoojien runsastumisen ehkäisyyn. Suunnitelmallista viljelykiertoa ja esikasvivalintaa tarvitaan estämään yksipuolisen viljelyn kasvinsuojelulliset haittavaikutukset. Kasvintuhoojien torjunnassa korostuu usean vuoden viljelykierto esikasvin sijaan, sillä monet taudinaiheuttajat, tuhohyönteiset ja rikkakasvit säilyvät maassa tai kasvijätteessä useita vuosia. (Keskitalo ym. 2014, 2–7.)

Pitkällä aikavälillä viljelykierron kasvien yhteisvaikutus eli viljelykiertovaikutus ratkaisee sen, mille tasolle maan kasvukunto asettuu (Rajala 2006, 111). Viljelykiertovaikutus eroaa esikasvivaikutuksesta siten, että siinä ei ole kyse kahden eri viljelykasvin keskinäisistä ajallisista vuorovaikutussuhteista, vaan koko viljelykierron aiheuttamasta muutoksesta maan kasvukunnossa (Rajala 2005, 162). Viljelykiertovaikutus syntyy maaperässä erilaisten viljelymaan rakenteeseen ja koostumukseen vaikuttavien fysikaalisten, biologisten ja kemiallisten prosessien myötä (Ball ym. 2005, 557). Viljelykierron vaikutuksesta viljelyvarmuus usein lisääntyy. Ensimmäisenä vuonna satoa voi lisätä kasvintuhoojapaineen vähentyminen, toisena vuonna maassa olevan typen mineralisoituminen ja kolmantena vuonna maan rakenteen parantuminen. (Keskitalo ym. 2014, 2–7.)

Viljelykiertojen monipuolistaminen Suomessa

Suomalaisten kasvinviljelytilojen viljelykierrot ovat hieman monipuolistuneet vuosina 1995–2011 Keskitalon (2013) tekemän vertailun mukaan, jossa aineistona käytettiin ProAgrian Lohkotietopankin tietoja. Viljelykiertojen monipuolistuminen johtuu erityisesti öljykasvien ja nurmen lisääntyneestä viljelypinta-alasta, mutta Keskitalon mukaan Suomessa on kuitenkin edelleen yleistä viljellä samaa viljelykasvia ainakin kaksi vuotta peräkkäin. Hehtaareissa laskettuna yksipuolisesti viljeltyjä viljapeltoja on vuosittain noin 250 000 - 300 000 hehtaaria (Toukoluoto & Peltonen 2015, 54).

TAULUKKO 1. Pellonkäyttö Suomessa vuonna 2016 (Tike 2016a).

KOKO MAA 2016

Viljelyala (1 000 ha)	ha	%
KÄYTÖSSÄ OLEVA MAATALOUSMAA YHTEENSÄ	2 273,60	100
Vehnä yhteensä	222,6	9,79
Ruis yhteensä	26,5	1,17
Ohra yhteensä	485,8	21,37
Kaura	330,6	14,54
Seosvilja	39,9	1,75
Muut viljat	2,6	0,11
NURMET ALLE 5 v. YHTEENSÄ	685,5	30,15
Peruna yhteensä	21,9	0,96
Sokerijuurikas	11,7	0,51
Herne	11,6	0,51
Härkäpapu	16,5	0,73
Rypsi	30,6	1,35
Rapsi	31,4	1,38
Öljy- ja kuitupellava	1,8	0,08
Kumina	20,5	0,90
Ruokohelpi	4,5	0,20
Vihantavilja	17,5	0,77
Puutarhakasvit	14	0,62
Muut kasvit	4,5	0,20
Kesannot	63,4	2,79
Luonnonhoitopellot	169,3	7,45
Viherlannoitusnurmi	30	1,32
Nurmet, vähintään 5 vuotta	26,1	1,15
Monivuotiset puutarhakasvit	3,7	0,16
Kasvihuoneviljely	0,4	0,02
Kotitarvepuutarha	0,9	0,04

Aineiston pienten ja suurten kasvinviljelytilojen viljelykierroissa on eroja. Suuremmilla kasvinviljelytiloilla on monipuolisemmat viljelykierrot kuin pienillä alle 25 hehtaarin kasvinviljelytiloilla.

Vuoden 2010 viljelykasvilajiston (taulukko 2) mukaan kevätiljoja viljeltiin kaikissa tilakokoluokissa yli puolet peltopinta-alasta, mutta suuremmilla tiloilla eri viljakasveja viljeltiin tasapuolisemmin. Kasvinviljelytilojen viljelykierroissa on kuitenkin aiempaa enemmän mukana nurmea, palkokasveja ja öljykasveja (Keskitalo & Jauhiainen 2012, 13), vaikka viljojen osuus on yli puolet kokonaisviljelypinta-alasta.

TAULUKKO 2. Erikokoisten kasvinviljelytilojen pellon käyttö peltoalasta vuonna 2010 (Keskitalo 2013).

	Tilan peltoala (ha)			
	<25	25–50	50–80	>80
Ohrat	22,6	26,25	26,45	25,35
Kaura	21,3	17,5	14,3	10,15
Kevätvehnä	7,1	11,3	14,5	17
Muut kevätiljat	0,3	0,4	0,4	0,3
KEVÄTILJAT yhteensä	51,3	55,45	55,65	52,8
Rypsit/rapsit	5,65	9,3	12,05	13,7
Peruna ja sokerijuurikas	2,1	2,8	2,8	2,75
Palkokasvit	0,6	1	1,3	2,2
Muut kevätkylvöiset erikoiskasvit	0,2	0,2	0,25	0,35
KEVÄTKYLVÖISET ERIKOISKASVIT yhteensä	8,55	13,3	16,4	19
Viljelemättömät nurmet (LHP, viljelem. laitumet, suojak.)	9,9	9,46	9,5	9,4
Tuotantonurmet (säilörehu-, heinä-, siemen-)	17,95	12,05	9,35	8,9
Syysviljat	1,4	2	2,8	4,2
Kumina	1,3	1,5	1,4	1,25
Muut monivuotiset (mm. ruokohelpi)	0,75	0,43	0,32	0,18
KAKSI- JA MONIVUOTISET yhteensä	31,3	25,44	23,37	23,93
Kesanto (avo-, sänki-, viher-)	7,55	4,6	3,4	2,9
Muu pellon käyttö	1,3	1,21	1,18	1,37
YHTEENSÄ %	100	100	100	100

Taulukon 3 mukaan pelkän kevätnään peräkkäisen viljelyn eli monokulttuurisen viljelyn osuus on laskussa, eikä sen osuus kokonaispinta-alasta ollut enää kuin 3,7 prosenttia, mutta kuitenkin pelkkien kevätiljojen sisältävien viljelykiertojen osuus oli yli 20 %, vaikkakin prosenttiosuus on laskenut vuosien saatossa.

TAULUKKO 3. Kevätvehnää sisältävien viljelykiertojen pellon käyttö eri jaksoina; prosenttia peltoalasta, jossa on 5 vuoden aikana viljelty ainakin kerran kevätkuvehnää (Keskitalo 2013).

Kierto	1995-1999	2001-2005	2007-2011
Muut kierrot (kevätkuvehnän lisäksi 2-3 kasvia)	10,6	10,5	13
Kevätkuvehnän monokulttuuri	6,4	5,3	3,7
Viljelty pelkkiä kevätkuviljoja	27,5	28,8	24,3
Viljelty kevätk- ja syysviljoja	8,3	8	4,6
Viljelty kevätkuvehnää ja nurmea	1,5	2	3,3
Viljelty kevätkuviljoja ja nurmea	4,2	5	8,1
Viljelty kevätkuvehnää ja kesannoitu välistä	1,6	1,6	0,4
Viljelty kevätk ja syysviljoja sekä kesannoitu	8,8	7,4	2,1
Kevätkuviljoja ja rypsiä tai rapsia	20,6	20,6	28
Kevätk- ja syysviljoja ja rypsiä tai rapsia	3,7	5,5	6
Mukana kierrossa palkokasveja	3,6	2,8	4,6
Mukana kierrossa perunaa ja/tai sokerijuurikasta	3	2,5	2,1
YHTEENSÄ %	100	100	100

Taulukon 4 luvuista voidaan todeta, että kevätkuvehnän monokulttuurinen viljely on yleisempää pienillä tiloilla kuin suurilla. Suuremmilla kevätkuvehnää viljelevillä tiloilla on kierrossa mukana enemmän öljykasveja kuin pienemmilla kasvinviljelytiloilla, mutta pienillä tiloilla kevätkuvehnäkieerrossa on mukana nurmea suhteellisesti enemmän kuin suuremmilla tiloilla.

Palkokasvien osuus kasvinviljelytilojen pellon käytöstä on taulukoiden 3–6 tietojen perusteella vielä pientä. Palkokasvien lisäämistä viljelykiertoihin suositellaan maailmanlaajuisesti, koska se tuo hyötyjä viljelyn monipuolistumisen kautta ja säästää synteettisesti valmistettua väkilannoitetyyppeä (Känkänen, Suokannas, Tiilikkala & Nykänen 2013, 10). Suomessa viljeltyjen palkoviljojen (herne ja härkäpapu) yhteensä viljelty peltopinta-ala vuonna 2016 oli 28 100 hehtaaria (Tike 2016b). Suomessa palkoviljoja voitaisiin Känkäsen ym. (2013, 36) teoreettisen selvityksen perusteella viljellä maksimissaan 180 000 hehtaarella.

Peltonen-Sainion, Hannukkalan, Huusela-Veistolan, Voutilan, Niemen, Valajan, Jauhiaisen ja Hakalan (2012, 15) selvityksen mukaan valkuaiskasvien osuuden Suomen pellonkäytöstä voisi nostaa 200 000 hehtaariin. Käytännössä se tarkoittaisi vuoden 2012 tason kaksinkertaistamista. Erityisesti vähäteltyjen palkokasvien osuutta voisi kasvattaa, tämä tarkoittaisi periaatteessa hennettä. Rypsiroteiinin omavaraisuutta voisi nostaa

vuoteen 2015 mennessä yli 30 prosenttiin ja vuoteen 2050 mennessä yli 50 prosenttiin. Kotovaraisten palkokasvien nykyisellä laajenevalla kasvupotentiaalilla voisi korvata ulkomailta tuodun soijan vuoteen 2025 mennessä.

TAULUKKO 4. Erikokoisten kasvinviljelytilojen viljelykierrot eri vuosina 2007–2011 kun kierrossa kevätvehnää (Keskitalo 2013).

	tilan koko			
	<25 ha	25-50	50-80	>80 ha
Monokulttuuri	9,1	6	3,9	2,4
Viljelty pelkkiä kevätviljoja	34,9	31,9	26,5	20,2
Viljelty kevät- ja syysviljoja	4,3	4,2	4,6	5,3
Viljelty kevätvehnää ja nurmea	4,4	2,5	1,8	1,5
Viljelty kevätviljoja ja nurmea	8,1	7,2	5,8	5,5
Viljelty kevätvehnää ja kesannoitu välistä	0,7	0,6	0,4	0,3
Viljelty kevät ja syysviljoja sekä kesannoitu	2,4	2,4	2,1	2
Kevätviljoja ja rypsiä tai rapsia	19,8	25,7	32,5	32,5
Kevät- ja syysviljoja ja rypsiä tai rapsia	2,4	3,7	5,4	8,7
Mukana kierrossa palkokasveja	2,3	3,4	3,9	6,1
Mukana kierrossa perunaa ja/tai sokerijuurikasta	1,7	1,9	2,1	2,5
Muut kierrot (kevätvehnän lisäksi 2-3 kasvia)	9,9	11,2	10,9	13,1
YHTEENSÄ %	100	100	100	100

Yksivuotisten satokasvien sekaan kylvettävillä alus- ja kerääjäkasveilla pystytään monipuolistamaan viljelykiertoa sadosta tinkimättä. Aluskasvit jatkavat kasvuaan pellon muokkaukseen asti. Seosviljelyssä viljellään ja korjataan yhtäaikaaisesti saman kasvilajin kahta eri lajiketta tai täysin eri kasvilajeja. Esimerkiksi rehuksi voidaan viljellä herne-kauraseoksia. (Toukoluoto & Peltonen 2015, 6; Kleemola 2013, 5-6.)

Ympäristökorvausjärjestelmän 2015–2020 tarjoamat vaihtoehdot viljelykierron monipuolistamiseen ovat luonnonhoitopeltonurmi, viherlannoitusnurmi, monivuotiset ympäristönhoitonurmet, monimuotoisuuspellot, suojavyöhykkeet, kerääjäkasvit ja saneeraus-kasvit. (Toukoluoto & Peltonen 2015, 55.)

Nurmi osana viljelykiertoa on perinteinen keino huolehtia maan rakenteesta. Ympäristökorvausjärjestelmä kannustaa lisäämään nurmea viljelykiertoon, mutta ongelmana on, että kasvinviljelytilojen nurmisadolle on vaikea löytää ostajaa. Sen vuoksi kasvinviljelytilojen nurmenviljely osana viljelykiertoa on harvinaista. (Seppälä, Kässi, Lehtonen H., Aro-Heinilä, Niemeläinen, Lehtonen E., Höhn, Salo, Keskitalo, Nysand, Winqvist, Luostarinen & Paavola 2014, 8–9.)

Viljelykierron vaikutus tuotokseen

Satotasojen mittaaminen on yksi harvoista keinoista, joilla voidaan tutkia viljelykierto-vaikutusta ilmiönä, koska erilaiset viljelykierrot vaikuttavat niin monella eri tavalla maan rakenteeseen ja viljavuuteen (Ball ym. 2005, 558).

Anderssonin (2015, 15) esittelemissä tutkimuksissa on havaittu, että viljelykiertovaikutuksen ansiosta viljelykasvien sadot ovat suurempia kuin viljelyjärjestelmältään vastavissa optimiolosuhteissa toimivassa monokulttuurissa, jossa viljellään esimerkiksi viljoja vuodesta toiseen.

Turkin mukaan (2006, 8) monokulttuuria mittaavissa kokeissa viljasadot laskevat 3–6 ensimmäisenä vuonna 40 prosenttia, mutta ovat sen jälkeen monokulttuuria jatkettaessa vakiintuneet 10–25 prosenttia viljelykiertojen antamaa satoa alemmaksi.

Bennettin ym. (2011, 54) kokoamissa monokulttuurin ja lyhyiden viljelykiertojen satotasoja mittaavissa kokeissa vuosilta 1985–2008 yksipuolisen viljelyn keskimääräinen satotappio monipuoliseen viljelyyn verrattuna oli 14–26 prosentin luokkaa. Esimerkiksi Alströmin (1992) kokeessa kaura sai 14 prosenttia pienemmän sadon. Christenin ja Sielingin (1995) kokeessa rapsi sai 3–17 prosenttia ja Stobartin (2009) kokeessa 6–25 prosenttia pienemmän sadon yksipuolisessa rapsin viljelyssä kuin monipuolisessa.

Teittisen (1979) mukaan rukiin sato parani 20–30 % kun esikasvi valittiin sopivasti.

TEHO Plus -hankkeen julkaisuun *Esikasvin vaikutus viljojen, öljykasvien ja perunan viljelyyn* (Keskitalo ym. 2014) on kerätty tietoja suomalaisia (taulukko 5) ja ruotsalaisia (taulukko 6) laajoja sekä uusimpia tietoaineistoja hyödyntäen esikasvin vaikutuksesta satoon verrattuna yksipuoliseen viljelyyn. Taulukoiden lähteinä on käytetty Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen virallisia lajikokeita, ProAgrian Lohkotietopankkia sekä ISO-VILJA -kasvuohjelman tuloksia.

Koska taulukot perustuvat laajoihin aineistoihin, voidaan olettaa tuloksissa esiintyvän vaihtelun kuuluvan myös todellisiin käytännön olosuhteisiin. Sadon nousu verrattuna yksipuoliseen viljelyyn oli verrattain suuri (11–40 %). Vertailtaessa Ruotsin ja Suomen lukuja huomataan, että ne ovat prosentuaalisesti tarkasteltuna samaa luokkaa, mutta ainakin suomalaisissa luvuissa ovat myös mukana ne tapaukset, jolloin esikasveista ei saatu hyötyjä tai esikasvista oli jopa haittaa. Sen sijaan Ruotsissa luvut perustuvat tut-

kimustuloksiin, joista on saatettu julkaista vain hyötyjä osoittavat tapaukset. (Keskitalo ym. 2014, 4–5.)

TAULUKKO 5. Esikasvien aikaansaamat sadon muutokset (sadon hyöty tai lasku kg/ha) verrattuna yksipuolisen viljelyn hehtaarisatoon (kg/ha luku ruskeaksi maalatussa lokerossa) suomalaislähteiden mukaan. Mikäli esikasin aiheuttama satoarvio perustuu usean lähteen tietoaaineistoon, erot on merkitty kauttaviivalla (Keskitalo ym. 2014, 5).

	Seuraavan satokasvin sadon muutos (kg/ha)					
Esikasvi	Kaura	Kevätvehnä	Ohra	Syysvilja	Öljykasvit	Vaihteluväli
Kaura	3400	-130/370	-210/150	240	210/280	-210/370
Kevätvehnä	520	3890	160/330	-30	320/370	-30/520
Ohra	310	150/180	3990	210	150/350	150/350
Syysvilja	690	260	190	3280	140/410	140/690
Öljykasvit	-140/460	-70/270	30/490	1330	1390	-140/1330
Peruna	-370/90	-140/440	-330/470		-60/250	-330/470
Esikasin kg/ha	-370/690	-140/440	-330/490	-30/1330	-60/410	
satovaikutus %	-10/20	-4/11	-8/12	-1/40	-4/29	

TAULUKKO 6. Esikasvien aikaansaamat sadon muutokset (sadon hyöty tai lasku kg/ha) verrattuna yksipuolisen viljelyn hehtaarisatoon (kg/ha luku ruskeaksi maalatussa lokerossa) ruotsalaislähteiden mukaan (Keskitalo ym. 2014, 5).

	Seuraavan satokasvin sadon muutos (kg/ha)					
Esikasvi	Kaura	Kevätvehnä	Ohra	Syysvilja	Öljykasvit	Vaihteluväli
Kaura	3500	400	200	700	200	200/700
Kevätvehnä	150	3800	100	100	250	100/250
Ohra	200	300	3700	300	250	200/300
Syysvilja			4200	150	150	
Kevätöljykasvit	300	500	500	1000	1900	300/1000
Syysöljykasvit		400	1100			400/1100
Peruna	800		1000		200	200/1000
Esikasin kg/ha	150/800	300/500	100/1100	100/1000	150/250	
satovaikutus %	4/23	8/13	3/27	-1/40	8/13	

3 Viljelykierto ja maanparannus maatalousyrittäjän päätöksenteossa

Päätöksentekoprosessissa päätöksentekijä (maatalousyrittäjä) valitsee vaihtoehtoista sen, joka johtaa tietyn tavoitteen tai tavoitteiden saavuttamiseen. Päätöksentekoa edeltää päätösongelma, joka ilmenee, jos nykytilanne on tavoitetasoa huonompi tai tavoitetasoa nostetaan nykyisestä tasosta. Talouden päätösongelmat voidaan tiivistää kolmeen peruskysymykseen: mitä ja miten paljon tuotetaan, miten tuotetaan ja kenelle tuotetaan. (Sonkkila 1996, 28–29.)

Tuotanto- ja kustannusteoriaa käytetään apuna tilan päätöksenteossa. Tuotannon aikaansaamiseksi tarvittava tuotantopanokset allokoidaan monien eri vaihtoehtojen mukaan niin, että olemassa olevilla resursseilla ja tuotantopanoksilla saadaan mahdollisimman suuri voitto eli taloudellinen tulos. (Doll & Orazem 1984, 1–2.) Talousteoria auttaa hahmottamaan uusien investointien ja tuotantoteknologioiden vaikutuksia tilan talouteen ja kannattavuuteen (Haataja & Peltola 2001, 11).

Tuotos tarkoittaa tietyinä ajanjaksona tuotettujen tuotteiden kokonaismäärää. Tuotto on tuotoksen rahallinen arvo. Tuottavuudella tarkoitetaan tuotoksen suhdetta tuotannon aikaansaamiseksi käytettyihin panoksiin. (Ryynänen & Pölkki 1984, 34–36.) Tilan toiminta on kannattavaa, kun tuotot ovat suuremmat kuin kustannukset (Viitala & Jylhä 2002, 121).

Teknologia on menetelmiä ja tuotantotapoja, joilla maatalousyrittäjä tuottaa tilalleen tuotoksen. Tietty tuote voidaan tuottaa monella eri tavalla. Yleinen oletamus on, että maatalousyrittäjä käyttää sitä teknologiaa, jolla saa parhaimman tuoton käytetyille tuotantopanoksille. (Doll & Orazem 1984, 26.)

Tässä tutkimuksessa maan rakenteen parantamisen hyödyt muodostuvat tuottoa lisäävistä ja kustannuksia vähentävistä tekijöistä (satohyöty ja säästö tuotantopanoksien käytössä). Kasvinviljelyn voittofunktio voidaan kuvata seuraavalla kaavalla:

$$\pi = p * (ks + v) - wx, \quad (1)$$

missä π = voitto, p = tuotteen hinta, ks = keski-sato, v = vuosittainen sadon satunnaisvaihtelu, x = tuotantopanokset ja w = tuotantopanosten hinta. Kaavassa maanparannustoimenpiteiden vaikutus satoon tulee esiin keskiarvosadon ks kautta, sillä kasvintuotantoprosessissa esiintyvät ongelmat ilmenevät alentuneen sadon myötä tilan taloudellisessa tuloksessa. (Haataja & Peltola 2001, 8.)

Rationaalisesti toimivan maatalousyrittäjän tavoitteena oletetaan olevan voiton maksimointi. Voitto voidaan maksimoida määrittämällä kannattavin panoskäyttö ja tuotostaso. Tätä kutsutaan taloudelliseksi optimoinniksi. Lyhyellä aikavälillä optimaalinen muuttuvien panosten käyttö maksimoi voittoa, mutta jos halutaan tätä tasoa korkeampi tuotto pitää muuttaa teknologiaa (Doll & Orazem 1984, 62–63.)

Tietyn tuotantoteknologian tuotantofunktiolla $y = f(x)$ voidaan tuottaa lopputuotetta määrä y käyttäen tuotantopanoksia määrä x_i . Tuotantofunktio voi kuvata esimerkiksi ohran kasvua. Siten tilan voitonmaksimointiongelma voidaan kuvata yleisessä muodossa seuraavasti:

$$\text{Max } pf(x_i) - w_i x_i, \quad (3)$$

Optimaalinen tuotos saadaan derivoimalla yllä olevan funktion tuotantopanoksen x_i suhteen. Maksimoidessaan tuotostaan yrittäjä valitsee optimaalisen tuotannon ja tuotantopanosten käytön tason siten, että se maksimoi taloudellisen tuloksen hintojen w ja p sekä olemassa olevan tuotantoteknologian puitteissa. Optimitilanteessa tuotantopanoksen rajatuotto on yhtä suuri kuin rajakustannus.

Yksittäisen maatalousyrittäjän näkökulmasta maatilayritys toimii kilpailullisilla markkinoilla, jolloin yrittäjä ei voi vaikuttaa yleiseen hintatasoon, mutta yrittäjä voi vaikuttaa tuotantomääriinsä ja tuotantomenetelmiinsä niin, että voitto (π) on mahdollisimman suuri. (Haataja & Peltola 2001, 12.) Pitkällä aikavälillä maatalousyrittäjä voi investoida pitkäkestoisiin tuotantopanoksiin eli esimerkiksi uuteen teknologiaan, jonka jälkeen maatalousyrittäjä toimii jälleen lyhyellä aika välillä ja muuttaa muuttuvien tuotantopanosten käyttöä optimoidakseen tuotantoaan uusien teknologioiden tuotantomahdollisuuksien mukaan (Doll & Orazem 1984, 26–27; Haataja & Peltola 2001, 12).

Investointi uuteen teknologiaan muuttaa tuotannon teknistä panos-tuotossuhdetta eli se muuttaa tuotantofunktiota. Tekninen kehitys parantaa tuottavuutta. Tuottavuus vaikuttaa panoskäyttöön ja saataviin tuotoksiin eli se muuttaa kannattavuutta, mutta tuottavuuden paraneminen ei välttämättä johda kannattavuuden paranemiseen. (Haataja & Peltola 2001, 12–13.)

3.1 Investoinnit

Tässä tutkimuksessa maan parempaan kasvukuntoon tähtäävät toimenpiteet nähdään investointeina. Tulevien vuosien tuottojen ja kustannusten erotus lasketaan katteena investoinnille.

Yritystoiminnassa joudutaan tekemään uhrauksia tulevaisuudessa saatavien tuottojen hyväksi. Tehdyn uhrauksen eli investoinnin ja siitä saatavan hyödyn välinen aikaero voi olla suuri. (Ryynänen & Pölkki 1982, 218.) Neilimon ja Uusi-Rauvan (1997, 176–177) mukaan investointina pidetään kertaluonteisia menoja, jotka ovat rahamäärältään suuria ja joissa tulon odotusaika on pitkä. Luenbergerin (1998, 1) mukaan investointi määritellään nykyisten resurssien sitomiseksi tulevaisuudessa saatavien hyötyjen saavuttamiseksi. Rahan pitkäaikaisen sitomisen odotetaan tuottavan tulevaisuudessa enemmän kuin sidottu rahamäärä on, jos investointi on arvoitettavissa rahallisesti. Tulevaisuudessa saatavaa tuottoa ei kuitenkaan voida ennustaa tarkasti.

Investoinnit vaikuttavat yrityksen kannattavuuteen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Tästä syystä on tärkeää tutkia suunniteltavan tuotantotoiminnan kannattavuutta ennen kuin investoinnista päätetään ja se toteutetaan, jotta tiedetään peittävätkö tulevaisuudessa

saatavat tuotot investoinnin aiheuttamat kaikki kustannukset (Ryynänen & Pölkki 1982, 218–219.) Investoinnista saatavan vuotuisen tuoton ja kustannuksen erotusta nimitetään nettotuotoksi (Neilimo & Uusi-Rauva 1997, 185).

Investointilaskelmilla pyritään etukäteen määrittämään investoinnin taloudelliset vaikutukset. Lähtökohtina ovat vuotuiset tuotot ja kustannukset siitä tuotannosta, jota varten investointi aiotaan suorittaa (Ryynänen & Pölkki 1982, 220). Investointien taloudellista kannattavuutta voidaan mitata kolmella eri tavoin; nettonykyarvomenetelmällä (net present value), takaisinmaksuajan (payback period) ja sisäisen korkokannan (internal rate of return) menetelmällä (Olson 2004, 260).

Nettonykyarvo (NPV) on investoinnista johtuvien tulevien vuosien diskontattujen tuottojen ja kustannusten erotus, josta on vähennetty investoinnin hankintakustannus. Matemaattisesti tämä esitetään kaavassa 4:

$$NPV = Y_0 + Y_1 \left(\frac{1}{(1+r)^1} \right) + \dots Y_n \left(\frac{1}{(1+r)^n} \right) \quad (4)$$

missä NPV = nettonykyarvo, r = diskonttauskerroin, n = kesto aika, Y_t = nettotuotto ajanjaksolla t ja Y_0 = hankintakustannus (negatiivinen summa). Jos nettonykyarvo on positiivinen ($NPV > 0$), investointi kannattaa toteuttaa. Jos vertaillaan kahta eri investointimahdollisuutta, niin korkeamman nettonykyarvon saava investointi kannattaa toteuttaa. (Olson 2004, 262; Neilimo & Uusi-Rauva 1997, 188.)

Diskonttaamalla laskentakoron avulla saatetaan eri ajankohtien tuotot ja kustannukset keskenään vertailukelpoisiksi. Korkotekijä osoittaa rahan aika-arvon eli kuinka paljon arvokkaampi tietty rahamäärä on tänään kuin tietyn ajan kuluttua. Investoinneissa tämä on olennaista, koska niistä johtuvat tuotot ja kustannukset ajoittuvat useille vuosille. Laskentakorkokantaa voidaan pitää investoinnin minimituottovaatimuksena. Se määräytyy investointiin sijoitettavan pääoman koron ja siihen lisättävän riskilisän perusteella. (Neilimo & Uusi-Rauva 1997, 186.)

Investointihyödykkeen jäännösarvolla tarkoitetaan myyntituloa, jonka siitä voi saada sen pitoajan päätyttyä. Monissa tapauksissa sen rahallinen arvo on alhainen, koska myyntitulo saadaan vasta kaukana tulevaisuudessa, jolloin investoinnin jäännösarvon arviointi on hyvin hankalaa. Tässä tutkimuksessa jäännösarvo tarkoittaa pellon parem-

paa kasvukuntoa, joka jää jäljelle investoinnin takaisinmaksuajan jälkeen. (Neilimo & Uusi-Rauva 1997, 188.)

Takaisinmaksuajan menetelmässä määritetään vuosien määrä, jolla tulevat nettotuotot kattavat perushankintainvestoinnista aiheutuneet kustannukset. Investointi toteutetaan, jos laskettu takaisinmaksuaika on lyhyempi tai sama kuin määritelty maksimitakaisinmaksuaika. (Olson 2004, 260–261.) Takaisinmaksuajan menetelmä suosii investointeja, joista sidottu pääoma kertyy nopeasti takaisin, sillä se ei ota huomioon tapahtumia takaisinmaksuajan jälkeen. Tiukan rahatilanteen aikana investoinnin vaikutus rahoitukseen voi olla investoineissa määräävä tekijä. (Neilimo & Uusi-Rauva 1997, 194.)

Sisäinen korkokanta (IRR) osoittaa sen korkokannan, jonka mukaan investoinnin nettonykyarvo on nolla. Matemaattisesti:

$$IRR = r^*, NPV = \sum_{t=0}^n Y_t \left(\frac{1}{(1+r)^t} \right) = 0 \quad (5)$$

Sisäisen korkokannan menetelmän mukaan investointi on kannattava jos sen sisäinen korkokanta on suurempi kuin investointiin sijoitettavan pääoman korko. Pääoman saannin ollessa rajallista sisäisen korkokannan menetelmä kertoo, mikä investointikohde on kannattavin. Nettonykyarvon ja sisäisen korkokannan menetelmien pitäisi antaa sama tulos. (Olson 2004, 262–263.)

Maatalousyrittäjät arvioivat maan kasvukuntoon investoimisen kannattavuutta samalla tavalla kuin minkä tahansa muun investoinnin kannattavuutta. Kaikki investoinnit, joissa nettokykyarvo on positiivinen, kannattaa toteuttaa investointeihin sijoitettavaa pääoman saannin ollessa rajoittamaton. Pääoman määrän ollessa rajallinen, yrittäjä joutuu vertailemaan eri investointimahdollisuuksien kannattavuutta keskenään. (Featherstone & Goodwill 1993, 68.)

3.2 Tuotantojärjestelmien vertailu

Tuotantojärjestelmä voidaan määritellä viljeltyjen kasvien ja eri viljelykiertojärjestelmien liikkeenjohdollisen soveltamisen perusteella (Gebremedhin & Schwab 1998, 7). Turkin (2006, 42) mukaan viljelyjärjestelmä tarkoittaa kasvintuotannon kokonaisohjelmaa, jolla tuottaja järjestää peltoviljelyn toiminnot päämääriensä ja voimavarojensa

hyödyntämisen näkökulmasta. Ryynänen ja Pölkki (1982, 128) määrittivät peltokasvien viljelyjärjestelmät sen perusteella, miten peltoala on jaettu eri kasveille ja mitä periaatetta kasvien vuorottelussa noudatetaan.

Maatalousyrittäjän pitää valita tuotantojärjestelmä lukemattomista teknologisesti mahdollisista vaihtoehtoista ja viljelymahdollisuuksista. Päätökseen voi vaikuttaa tuotantojärjestelmän yhteys maan rakenteeseen ja kasvukuntoon, ympäristöystävällisyyteen sekä maatilán tuottavuuteen. Yleensä tilatasolla maatalousyrittäjä valitsee teknologisesti mahdollisista tuotantojärjestelmistä tuottavimman tuotantojärjestelmän ja mieluiten tuotantojärjestelmän pitää olla myös niin tuottoisa, että se mahdollistaa taloudellisen selviytymisen myös tulevaisuudessa. Vuosittain kertyneet voitot ja säästöt mahdollistavat maatilán kasvun. Eri tuotantojärjestelmien tuottavuus voi vaihdella ajan mittaan ja maatalousyrittäjän pitää sopeuttaa tuotantoaan jatkuvasti. Tämän takia tuotantojärjestelmien taloudellisella analyysillä on tärkeä rooli kestävän tuotantojärjestelmän valinnassa.

Kannattavuus muodostuu tuotantokustannuksista, sadon hinnasta ja saadusta sadosta. Erilaisilla tuotantojärjestelmillä on erilaiset tuotantokustannukset ja erilaiset myytävät sadot. Vuosittaisen tuloksen vaihtelu vaikuttaa etenkin riskiä välttävien maatalousyrittäjien päätöksiin. Tuloksen vaihtelu johtuu tukien, sadon määrän sekä panos- ja tuotoshintojen vaihtelusta. Yksittäisen maatalousyrittäjän toimilla ei ole vaikutusta panosten ja tuotosten yleiseen hintatasoon, mutta muutos yksittäisen maatilán tuotantojärjestelmässä voi vaikuttaa maatilán tulojen vaihteluun viljeltyjen kasvien ja niiden satojen sekä panoskäytön vaihtelun kautta.

Tuotantojärjestelmien taloudellisissa analyyseissä eri järjestelmien ja niihin liittyvien käytäntöjen identifiointi on tärkeää. Jos tuotantojärjestelmien välillä on suuria koko maatilán operatiiviseen toimintaan vaikuttavia eroja, on tarpeen laskea vaikutus koko tilán talouteen. Tuotantojärjestelmien vaikutuksen kohdistuessa vain tiettyyn osaan tilán toimintaa vain budjetti- ja katetuottolaskelmat riittävät. Staattisten laskelmien tulosten tulkitsemisessa on oltava varovainen, sillä useiden tuotteiden, teknologioiden ja niiden monien erilaisten tulonmuodostus tapojen arvottaminen ei aina ole helppoa. Tuotantojärjestelmien analysoimisessa on tärkeää muistaa myös eri järjestelmien fysikaalinen ja taloudellinen ajallinen esiintyminen.

Viljeltävät kasvit kilpailevat peltopinta-alasta, sillä vaihtoehtoiskustannus tuotettavalle kasville tietyllä peltopinta-alalla on seuraavaksi parhaan viljelykasvin menetetty tuotto.

Viljelykiertojen tapauksessa kiertojärjestelmän kannattavuutta tulee vertailla jatkuvaan yksipuoliseen viljelyjärjestelmään ottaen huomioon kiertojärjestelmän uusien viljelykasvien sadot. Vaihtoehtoisilla kiertojärjestelmillä voi olla erilaisia vaikutuksia tuotantokustannuksiin ja viljelykasvien satoihin. Viljelykiertojen taloudellisissa analyysissä pitää tuntea millainen kierron pituus on ja miten tietty kasvi esiintyy kierrossa. Maalaji ja muut luonnolliset tekijät oletetaan vakioiksi.

Viljelijän suunnitteluhorisontti voi olla lyhyt- tai pitkä. Lyhyellä aikavälillä viljelijä maksimoi kiinteille kustannuksille jäävän katetuoton. Pitkällä aikavälillä kokonaistuotosten pitää riittää kattamaan myös tilan tuotannon kiinteät kustannukset muuttuvien kustannusten lisäksi, jotta tila olisi kannattava. Vain muuttuvat kustannukset huomioon ottavien katelaskelmien käyttö viljelyjärjestelmien taloudellisissa analyyseissä ovat yhtä käyttökelpoisia ja johdonmukaisia kuin kokonaiskustannukset ja -tuotot huomioon ottavat taloudelliset vertailut, jos kiinteät kustannukset ovat vakiot. Jatkuva taloudellinen analyysi on ollut ja on tärkeä väline pitkän aikavälin analyyseissä vertailtaessa eri tuotantojärjestelmiä keskenään. (Gebremedhin & Schwab 1998, 7–10.)

Viljelykiertojen kannattavuuden vertailussa on käytetty mm. tuotto- ja kustannuslaskelmia (enterprise budgeting), herkkyysanalyyseja (break-even/sensitivity analysis), lineaarista ohjelmointia (linear programming) ja stokastiseen dominanssiin perustuvaa analyysia (stochastic dominance analysis).

Katetuottolaskelma on yleinen vertailumenetelmä. Katetuottolaskelmilla voidaan selvittää yksittäisen kasvin vaikutus kiertojärjestelmän kannattavuuteen. Katetuottolaskelmia voidaan käyttää myös vertailtaessa mikä on yksittäisen kasvin osuus eri viljelyjärjestelmissä. Katetuottolaskelmilla voidaan laskea erilaisia tuottoja kuten myyntikate (katetuotot A/B eli tuotot – muuttuvat kustannukset) ja taloudellinen tuotto joiden mukaan viljelyjärjestelmiä voidaan verrata keskenään. Katetuottolaskelmissa pitää määrittää tuoton lähteet ja tarvittavat tuotantopanokset sekä arvottaa ne. Viljelykasvin panos-tuotossuhteeseen voi vaikuttaa sen sijainti viljelykierrossa, mikä on otettava tarkastelussa huomioon. Kaikki tuotot ja kustannukset pitää muuttaa samaan rahan aika-arvoon.

Herkkyysanalyyseissa testataan eri tekijöiden muutoksen vaikutusta lopputulokseen. Yleensä nämä tekijät eli muuttujat ovat sato ja hinta. Esimerkiksi break-even analyysissä etsitään se tuoton lisäys, jolla saadaan kustannukset katettua.

Lineaarista ohjelmointia käytetään viljelyjärjestelmän tai eri viljelyjärjestelmien vertailuun, kun etsitään muuttuville tai kokonaiskustannuksille parhaimman tuoton antamaa vaihtoehtoa resurssirajotteiden puitteissa. Lineaarista ohjelmointia voi käyttää myös eri aikajaksoja sisältävässä laskennassa.

Riskit ja riskinottohalu vaikuttavat maatalousyrittäjän päätöksentekoon. Stokastista dominanssia on käytetty analysoitaessa riskin vaikutusta maatalousyrittäjän valintaan eri viljelykasviportfolioiden välillä. Myös yksinkertaisia herkkyysanalyysyjä voi käyttää tarkasteltaessa panos- ja tuotoshintojen vaihtelun aiheuttaman riskin vaikutusta lopputulokseen. (Gebremedhin & Schwab 1998, 10–12.)

3.3 Tilan resurssien, toimintaympäristön ja taustatekijöiden vaikutus

Maatilan tuotannon suunnitteluun vaikuttavat tilan olemassa olevat resurssit, toimintaympäristö ja taustatekijät, jotka ovat perusta tilan eri tuotantovaihtoehtojen suunnittelulle.

Maatilan käytettävissä olevat resurssit kuten ilmasto, pellot, työvoima, pääoma (koneet, rakennukset, karja ja tuotantotarvikkeet), rahoituksen saatavuus ja ammattitaito rajoittavat tilan toimintaa. (Olson 2004, 6–7.)

Hyvä konekanta sekä peltolohkojen koko, sijainti ja hyvä kasvukunto ovat vahvuuksia, jotka laajentavat tilan kasvivalikoimaa. Toisaalta heikkouksia kuten maan tiivistymistä, konekannan niukkuutta ja työvoiman vähäisyyttä voi parantaa valitsemalla kierto- monivuotisia ja maan rakennetta parantavia kasveja. (Toukoluoto & Peltonen 2015, 51.)

Luonnonolot kuten kasvukauden pituus, lämpötila, sademäärä ja maaperä vaikuttavat tilan kasvintuotannon mahdollisuuksiin. Suomessa on maantieteellisiä eroja kasvintuotannon rakenteessa ja viljelyolosuhteissa erilaisista luonnonoloista johtuen. (Ryynänen & Pölkki 1982; 12, 183.)

Tilan sijainti suhteessa tuotteiden jalostuslaitoksiin, markkinoihin, muihin tiloihin ja teihin vaikuttaa sadon kuljetuskustannuksiin. Viljelykasvien satojen kuljetuskustannukset ja markkinat vaikuttavat siihen, mitä kasveja tilalla kannattaa viljellä. (Ryynänen & Pölkki 1982, 183–184.)

Poliittinen päätöksenteko vaikuttaa suuresti maatalousyrittäjän toimintamahdollisuuksiin instituutioiden kuten valtionvallan kautta. Ne asettavat eri sääntöjä, joiden mukaan maatalousyrittäjän täytyy toimia. (Olson 2004, 7.)

4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

4.1 Tutkimusmenetelmät

Maanparannustoimenpiteiden taloudellista kannattavuutta (investointien takaisinmaksuaikaa) tarkastellaan tässä tutkimuksessa vertailemalla maatalousyrittäjän peltolohkolla harjoittamaa vanhaa tuotantojärjestelmää uuteen, maan kasvukunnon parantamiseen tähtäävään, tuotantojärjestelmään. Uuden tuotantojärjestelmän oletetaan tuottavan suuremman sadon paremmasta maan kasvukunnosta johtuen.

Tilatason taloudellisissa laskelmissa huomioitiin kunkin peltolohkon alkuperäisen tuotantojärjestelmän ja uuden, maan parempaan kasvukuntoon tähtäävän, tuotantojärjestelmän erilaiset viljelykierrot. Maan perusparannustoimenpiteiden kustannukset kohdennettiin toteutumisvuosille. Tutkimuksessa käytettiin katetuottoja, joissa markkina-tuottojen ja tukien summasta vähennettiin muuttuvat kustannukset ja perusparannustoimenpiteiden kustannukset. Muuttuvat kustannukset sisälsivät työkustannukset (16,1 €/tunti).

Eri tuotantojärjestelmien vuosittaiset nettotuotot (katetuotot) muunnettiin 20 vuoden tarkasteluajanjaksolta nykyarvoon nettonykyarvomenetelmää käyttäen. Laskentakorkokantana käytettiin 2 prosenttia. Kunkin vaihtoehtoisen tuotantojärjestelmän nettotuotoista muodostettiin kumulatiiviset katetuottokertymät. Takaisinmaksuaika on se vuosi, jonka jälkeen parempaan maan kasvukuntoon tähtäävän tuotantojärjestelmän kumulatiivinen katetuottokertymä on suurempi kuin alkuperäisen tuotantojärjestelmän kumulatiivinen katetuottokertymä. Toisin sanoen laskelmissa tarkastellaan pellon parempaan kasvukuntoon tähtäävien investointien (investoinnit + viljelykierron monipuolistaminen) vaikutusta katetuottokertymiin verrattuna tilanteeseen, jossa kyseisiä muutoksia pellon viljelytavassa ei tehdä.

Monte Carlo -simuloinnin avulla voidaan tutkia yhden tai usean parametrin (tässä tutkimuksessa sadon määrä ja sadon hinta) muutoksen yhtäaikaista vaikutusta (riskiä) mallin tulosten jakaumiin. Parametreille annetaan tietty vaihteluväli, josta simulaatio satunnaisesti (normaalijakautuneesti odotusarvon ympäriltä, jos oletuksena normaalijakautuneisuus) arpomalla valitsee parametreille arvot. Parametrit arvotaan toisistaan riippumatta ja näin ollen simulaatiossa ei oteta huomioon niiden välillä mahdollisesti vallitsevia korrelaatioita. (Vose 1996, 57–65.)

Tässä tutkimuksessa Monte Carlo -simulaatiota sovelletaan tuotantojärjestelmien takaisinmaksuaikojen herkkyyssanalyysiin. Monte Carlo -simulaatiot toteutettiin suorittamalla kullekin satohyötyskenaariolle (ks. luku 4.2) parametrien arvonta ja tulosten laskenta 5000 kertaa. Yksittäinen arvonta sisältää samat arvotut parametrien arvot 20 vuodelle eli esimerkiksi sadon hinnat eivät vaihtelee yksittäisen arvonnin sisällä eri vuosien välillä ja vertailtavien tuotantojärjestelmien välillä arvotut parametrien arvot (sadonhinta ja satomäärä) ovat samoja yksittäisen arvonnin sisällä kummallekin tuotantojärjestelmälle. Annettu sadonlisäys vaikuttaa vain uuden tuotantojärjestelmän satomäärään. Arvontojen muodostamasta takaisinmaksuaikojen todennäköisyysjakaumista on muodostettu kumulatiiviset todennäköisyyskuviot (Vose 1996, 70–82).

Herkkyyssanalyysillä tutkitaan yksittäisten parametrien muutosten vaikutusta mallin antamaan tulokseen. Tässä tutkimuksessa herkkyyssanalyysillä tutkitaan, miten takaisinmaksuajat muuttuvat, kun satohyödyn eli sadonlisäyksen suuruutta ja/tai sadon hintaa muutetaan satohyötyskenaarioiden mukaisesti.

Lannoituskustannusten määrittämiseen on käytetty taloudellista optimointia, joten optimilannoitetaso vaihtelee hintojen muuttuessa. Optimointi on suoritettu ympäristötuen lannoiterajoitukset huomioon ottaen ja lannoitteiden hinnat pysyvät koko ajan samoina (Liite 5). Kunkin kasvin optimaalinen typpilannoitus on saatu käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$\frac{dF(N)}{dN} = \frac{P_f}{P_c} \quad (6)$$

missä $F(N)$ on typpilannoituksen satovastefunktio, P_f on lannoitteen hinta suhteessa sen sisältämään typpimäärään ja P_c on kasvinviljelytuotteesta saatava hinta.

Vehnän, kauran, ohran ja rypsin typpilannoituksen satovastefunktiona on käytetty Mitscherlich -funktiota:

$$Sato (kg/ha) = m(1 - k^{-bN}) \quad (7)$$

missä N on typpilannoituksen määrä per hehtaari, m , k ja b ovat kullekin kasville erikseen estimoidut parametrit (Liite 5).

Rypsin ja rukiin typpilannoituksen satovastefunktiona on käytetty kvadraattista funktiota:

$$Sato (kg/ha) = a + bN + cN^2 \quad (8)$$

missä a , b ja c ovat kummallekin viljelykasville erikseen estimoidut parametrit. Satovastefunktioiden parametrit pysyvät joka vuosi samoina. Alkuperäisiä parametreja on muokattu siten, että viljelykasvien nykyisellä hintatasolla (lähtöarvoilla) on saatu sato-tasot, jotka vastaavat peltolohkojen nykyisiä satoja (Liite 5), jotta satovastefunktio vastaisi mahdollisimman hyvin pellon nykytilannetta. Lähtöarvot eli alkuperäiset satomäärät ja sadon hinnat (viljelykasvituotteiden tuottajahinnat) esitetään liitteissä 3 ja 4.

Herneelle ja puna-apilalle ei ole saatavilla omia typpilannoitustason optimointiin käytettäviä satovastefunktioita, joten herneelle ja puna-apilalle on määritelty vakiona pysyvä lannoitustaso niille suositeltavan (Yara) starttityppilannoituksen perusteella (herne 30 kg ja puna-apila 15 kg). Herne ja puna-apila ovat typensitojakasveja, joten niiden ajatellaan sitovan lopun kasvuun tarvittavan typen biologisesti.

Maan kasvukunnon parantumisen oletetaan parantavan maan ”ominaiskasvua” kaikilla lannoitustasoilla. Tässä tutkimuksessa oletetaan, että lannoitusoptimi pysyy samana maan kasvukunnon parantumisen myötä eli sadonlisäys lisälannoitusyksiköstä on yhtä suuri kaikilla lannoitustasoilla lannoitteiden tuottavuuden parantuessa: Lannoituksen määrä pysyy ennallaan, mutta satoa saadaan enemmän, koska viljelykasvin lannoitteiden hyödyntämiskyky tehostuu. Tämä tarkoittaa sitä, että lannoitusvastefunktion oletetaan siirtyvän ylöspäin maan kasvukunnon parantamisen seurauksena, mutta funktion muoto ei muutu. Käytännössä satohyöty voi vaihdella eri lannoitustasojen välillä, mutta kasvukunnon parantumisesta aiheutuvaa tuottomuutosta on vaikea arvioida, koska siitä ei ole saatavilla tähän tutkimukseen soveltamiskelpoisia aikaisempia tutkimuksia.

Katetuotoissa on otettu huomioon typensitojakasvien jälkivaikutus, jonka oletetaan olevan Känkäsen, Suokankaan, Tiilikkalan ja Nykäsen (2012, 38) tutkimuksen esimerkin mukaisia. Herneellä sen arvioidaan olevan 25 kg, puna-apilalla 30 kg, 2–3 vuotisella typensitojakasveja sisältävällä viherlannoitusnurmella 70 kg ja kerääjäkasvina toimivalta valkoapilalla 20 kg typensidonnan jälkivaikutus. Jälkivaikutus on otettu huomioon taloudellisesti vähentämällä seuraavan vuoden viljelykasvin kustannuksista jälkivaikutuksen suuruinen lannoitteen arvo typen hinnalla 1,22 e/kg, joka on laskettu Suomensalpietari -lannoitteen (0,34 e/kg) perusteella (ProAgria 2016).

4.2 Skenaariot

Maanperusparannustoimenpiteiden ja viljelykierron monipuolistamisen yhteisvaikutuksesta johtuvaa tulevaisuudessa oletettavasti toteutuvaa sadonlisäystä on erittäin vaikea arvioida eikä toimenpiteiden yhteisvaikutuksesta satoon ole tähän tutkimukseen suoraan soveltuvia tutkimustuloksia. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa on määritelty erilaisia satohyötyskenaarioita, joissa oletuksena ovat tietyt sadonlisäykset maanparannustoimenpiteiden vaikutuksesta. Skenaarioiden määrittelyssä on käytetty apuna pilottitiloilta saatuja tietoja, tämän tutkielman kirjallisuusosiossa käsiteltyjä tutkimuksia (viljelykierron monipuolistamisesta saatava satohyöty) ja asiantuntija-arvioita (Alakukku 2016).

Skenaarioiden avulla selvitetään erisuuruisten satohyötyjen vaikutusta maanparannustoimenpiteiden takaisinmaksu-aikaan. Herkkyysanalyysissä käytetyt hinta- ja satohyötyskenaariot esitetään taulukossa 7. Vertailun vuoksi taulukon 7 satohyötyskenaarioiden lisäksi esitetään myös skenaario, jossa ei ole ollenkaan satohyötyä.

Skenaariossa A uuden tuotantojärjestelmän satohyötyjen oletetaan olevan keskimäärin samansuuruiset vuodesta toiseen.

Skenaariossa B oletetaan vuosittaisen sadonlisäyksen olevan uudessa tuotantojärjestelmässä suurimmillaan kahtena ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna maanparannustoimenpiteiden jälkeen. Sen jälkeen sadonlisäyksen oletetaan alenevan ja tasoittuvan tiettyyn tasoon vanhan tuotantojärjestelmän satotaso suuremmaksi.

Lisäksi kussakin skenaariossa testataan kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen hintatason (+20 % ja -20 %) vaikutusta lopputulokseen.

TAULUKKO 7. Satohyöty- ja hintaskenaariot

		Vuosittaiset satohyödyt					
Sadon hinta		1.	2.	3.*	4.	5.	6.-20.
Skenaario A	-20 %	-	-	-	10 %	10 %	10 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	10 %	10 %	10 %
	+20 %	-	-	-	10 %	10 %	10 %
	-20 %	-	-	-	20 %	20 %	20 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	20 %	20 %	20 %
	+20 %	-	-	-	20 %	20 %	20 %
	-20 %	-	-	-	30 %	30 %	30 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	30 %	30 %	30 %
	+20 %	-	-	-	30 %	30 %	30 %
Skenaario B	-20 %	-	-	-	20 %	15 %	10 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	20 %	15 %	10 %
	+20 %	-	-	-	20 %	15 %	10 %
	-20 %	-	-	-	30 %	25 %	20 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	30 %	25 %	20 %
	+20 %	-	-	-	30 %	25 %	20 %
	-20 %	-	-	-	40 %	35 %	30 %
	Alkuperäinen hinta	-	-	-	40 %	35 %	30 %
	+20 %	-	-	-	40 %	35 %	30 %

*Peltolohkossa 2 perusinvestointivuotia vain kaksi..

Taulukon 7 vuosia 1–3 kutsutaan investointivuosiksi. Silloin uudella maan parempaan kasvukuntoon tähtäävällä tuotantojärjestelmällä ei ole viljelykierrosta johtuen sadosta saatavia myyntituottoja. Vuosittaiset satohyödyt lasketaan alkuperäisten lähtöarvoista (Liitteet 3 ja 4).

4.3 Tutkimusaineiston kuvaus ja aineiston hankinta

Tutkimuksessa käytettiin OPAL Life – hankkeen pilottitiloja esimerkkitapauksina. Tilojen valitsemisessa on käytetty suunniteltua valikointia niissä esiintyvien havaintojen perusteella (Yin 1994, 6). Hankkeen 20 pilottitilasta tähän tutkimukseen on valittu kaksi kasvinviljelytilaa tiloille ennalta tehtyjen haastattelujen perusteella. Lisäksi tiloihin on oltu erikseen yhteydessä tämän tutkimuksen osalta tarkempien tietojen saamiseksi. Valitsemisen perusteena on ollut tutkimukseen soveltuvat peltolohkot ja niille tehtävät

maanparannustoimenpiteet sekä maatalousyrittäjien kiinnostus kyseisien toimenpiteiden kannattavuuden määrittämiseen ja arvioimiseen. Tilat sijaitsevat Lounais-Suomessa ja Pohjois-Savossa.

Tähän tutkimukseen on valittu kaksi esimerkkipeltolohkoa (peltolohkojen viljelykierrot ja maanparannustoimenpiteet ovat esitetty Liitteessä 6), joille maatalousyrittäjät ovat suunnitelleet tekevänsä maan parannustoimenpiteitä ja ovat arvioineet saavansa peltolohkoilta mahdollisesti suurempaa satoa näiden toimenpiteiden avulla.

Aineisto

Ennestään lohkoilla viljelyssä olevien ja uusien viljelykasvien alkuperäisten satomäärien (lähtöarvot) ja niiden keskihajontojen määrittämiseen on käytetty Luonnonvarakeskuksen Tilastotietokannan Tiken alueellisia tilastoja ja pilottitiloilta saatuja tietoja. Eri viljelykasvien hintamuutosten oletetaan olevan suhteessa samanlaisia. Kuten liitteessä 1 oleva kuvio osoittaa, kasvinviljelytuotteiden hinnat vaihtelevat vuositasolla varsin samansuuntaisesti. Kasvinviljelytuotteiden keskimääräiset tuottajahinnat ja niiden keskihajonnat on määritetty Tikestä saatujen seitsemän viime vuoden hintojen (2009–2015) keskiarvon perusteella, koska näiden hintojen arvioidaan vastaavan seuraavien vuosien hintatasoa. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016–2025 -julkaisun ennustuksen mukaan EU-28 reaalisten tuottajahintojen kehitys tulevaisuudessa on varsin maltillista tai ne pysyvät samoina (Liite 1). Kaikkien viljelykasvien satojen suhteellisen keskihajonnan oletetaan olevan 10 % ja viljelykasvituotteiden hintojen 20 % Tiken tilastojen perusteella. Keskihajonnat pysyvät laskelmissa samoina, vaikka maan rakenteen parantumisessa voisi olettaa satojen hajonnan pienentyvän. Viljelykierron monipuolistamisen aiheuttamaa tauti- ja tuholaispaineen vähentymistä ja siitä seuraavaa mahdollista kasvi-tautien sekä tuholaisorjunnan kustannusten vähentymistä ei ole otettu huomioon.

Katetuottolaskelmissa on käytetty pilottitiloilta saatuja tietoja ja muita lähteitä (Liite 2). Lähtöarvoilla lasketut katetuotot esitetään liitteissä 3 ja 4. Katetuottolaskelmissa panos-tuotossuhteiden lähtökohtana ovat yleisesti sovelletut ja vertailukelpoiset ProAgrian (2016) Tuottopehtorin vastaavien satotasojen katelaskelmat, koska esimerkkitiloilta ei ole saatavilla tarkkoja ja vertailukelpoisia tietoja. Herneen osalta käytetään Peltonen-Sainion ja Niemen (2012) sekä Sipiläisen ym. (2012) tutkimusten esimerkkien mukaisia panossuhteita, koska herneestä ei ole saatavilla yleisesti hyödynnettyä esimerkkikate-

laskelmaa. Katetuotoissa sadon kuivaus- ja rahtikustannukset muuttuvat lineaarisesti satomäärän mukaisesti (0,013 e/kg kuivaus ja 0,015 e/kg rahtikustannus).

Maataloustuet oletetaan vuoden 2016 tason mukaisiksi ja niissä huomioidaan kunkin tukialueen ja viljeltävän kasvin tukien erilaisuus Maaseutuviraston hakuoppaan (2016) mukaisesti.

5 Tutkimustulokset

Tässä tutkimuksessa oli mukana kaksi esimerkkitapausta. Peltolohkon 1 maanparannustoimenpiteet ovat esitelty liitteessä 6 ja peltolohkon 2 liitteessä 7.

Peltolohkon 1 tulokset

Peltolohkon 1 tapauksessa tarkasteltiin kohtalaisen mittavaa maanparannusinvestointia, joka sisältää ensimmäisinä vuosina viherlannoitusnurmen, jankkuroinnin ja puukuidun käytön sekä myöhempinä vuosina syyläjuurisia kasveja viljelykierrossa. Peltolohkon 1 laskelmien keskeiset tulokset on koottu taulukoihin 8 ja 9. Taulukoissa esitetään maanparannustoimenpiteiden keskimääräiset takaisinmaksuajat vuosissa mitattuna, niiden keskihajonta sekä vaihteluväli Taulukon 7 mukaisilla sato- ja hintaskenaarioilla laskettuina.

Kuten taulukoista voidaan havaita, maan parempaan kasvukuntoon tähtäävä tuotantojärjestelmä maksaa itsensä takaisin ilman satohyötyä keskimäärin 8,8 vuodessa alkuperäisellä hintatasolla laskettuna johtuen uuden viljelykierron kasvien keskimääräisesti paremmista katetuotoista. Katetuottoihin vaikuttavat myös pienentyneet lannoituskustannukset biologisesta typensidonnasta johtuen.

Skenaarion A (satohyötyjen oletetaan olevan keskimäärin samansuuruiset vuodesta toiseen) mukaisella 10 % sadonlisäyksellä keskimääräinen takaisinmaksuaika lyhenee 8,8 vuodesta 6,4 vuoteen. 20 % sadonlisäyksellä 5,5 vuoteen ja 30 % sadonlisäyksellä 5,1 vuoteen.

10 prosentin sadonlisäyksellä skenaarion A mukaisesti tuottajahintojen korkealla (+20 %) tasolla keskimääräinen takaisinmaksuaika on 8,3 vuotta, alkuperäisellä hintatasolla 6,4 vuotta ja matalalla (-20 %) hintatasolla 4,5 vuotta.

TAULUKKO 8. Takaisinmaksuaikojen (vuotta) keskimääräiset arvot, keskihajonta sekä vaihteluväli: skenaario A, peltolohko 1

Satohyöty %	0			+10			+20			+30		
Hinnan muutos %	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20
Keskimääräinen	12,7	8,8	5,4	8,3	6,4	4,5	6,9	5,5	4,2	6,1	5,1	4,0
Keskihajonta	4,0	4,2	3,2	2,1	2,3	1,8	1,5	1,7	1,3	1,2	1,3	1,0
Min	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Max	>20	19	19	15	13	13	12	10	9	9	8	8

TAULUKKO 9. Takaisinmaksuaikojen (vuotta) keskimääräiset arvot, keskihajonta sekä vaihteluväli: skenaario B, peltolohko 1

Satohyöty %	0			+10			+20			+30		
Hinnan muutos %	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20
Keskimääräinen	11,5	8,0	5,1	7,7	5,9	4,4	6,4	5,2	4,1	5,8	4,8	3,9
Keskihajonta	3,9	3,8	2,8	2,1	2,1	1,6	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	0,9
Min	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Max	>20	19	18	14	13	12	10	9	9	9	9	8

Vaihteluväli eli saadun suurimman ja pienimmän takaisinmaksuajan erotus (Heikkilä 1998, 85) on pienin suurimman (30 %) sadonlisäyksen skenaarioissa (6-5 vuotta) ja suurin (16–17 vuotta) pienimmällä satohyödyllä 0 %. Takaisinmaksuaikojen keskihajonta kertoo, kuinka takaisinmaksuajat vaihtelevat keskiarvon ympärillä. Mitä pienempi hajonta on, sitä lähempänä saadut takaisinmaksuajat ovat keskimääräistä takaisinmaksuaikaa. (Heikkilä 1998, 86.) Taulukoiden 8 ja 9 tulosten mukaan pienen sadonlisäyksen vaihtoehdossa takaisinmaksajan hajonta on vuosissa mitattuna suurempi kuin suuren sadonlisäyksen vaihtoehdoissa.

Sadonlisäys- ja hintaskenaarit skenaarion B mukaisesti on esitetty taulukossa 9. Skenaarion B (vuosittaisen satohyödyn olevan suurimmillaan kahtena ensimmäisenä jälki-vaikutusvuonna maanparannustoimenpiteiden jälkeen, jonka jälkeen sadonlisäyksen oletetaan madaltuvan ja tasoittuvan tiettyyn tasoon vanhan tuotantojärjestelmän satotasoja suuremmaksi) mukaisella 10 % satohyödyllä keskimääräinen takaisinmaksuaika lyhenee 8,8 vuodesta 5,9 vuoteen, 20 % satohyödyllä 5,2 vuoteen ja 30 % satohyödyllä 4,8 vuoteen.

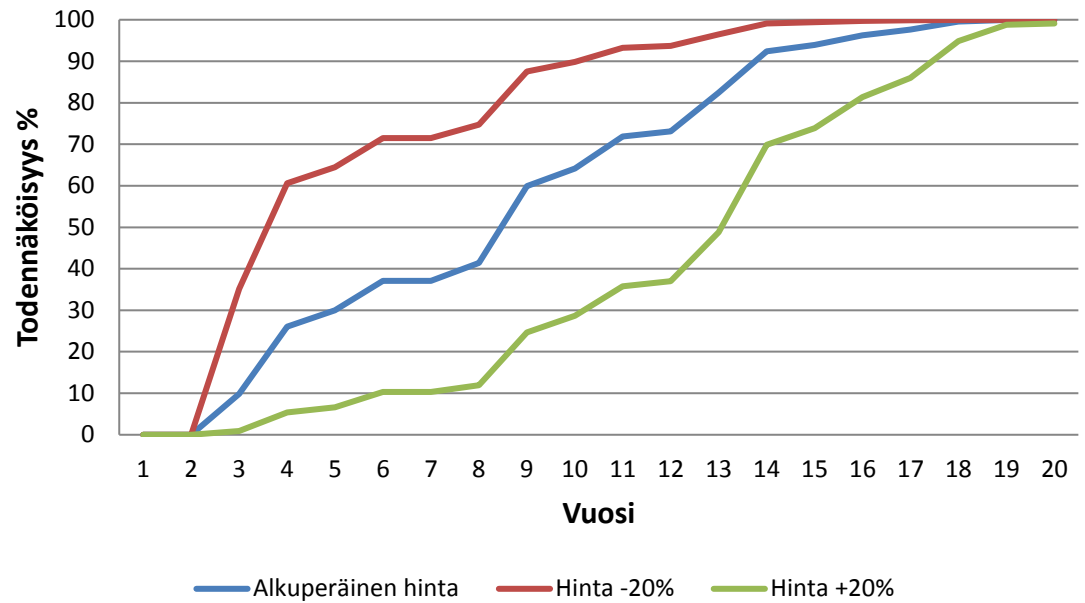
Satohyödyllä 10 % tuottajahintojen korkealla (+20 %) hintatasolla skenaariossa B keskimääräinen takaisinmaksuaika on 7,7 vuotta, alkuperäisellä hintatasolla 5,9 vuotta ja matalalla (-20 %) hintatasolla 4,4 vuotta.

Skenaarion B takaisinmaksuajat ovat yleisesti lyhempiä kuin skenaarion A mukaiset takaisinmaksuajat, koska skenaariossa B kahtena ensimmäisenä jälkivaikutusvuotena satohyöty on asetettu suuremmaksi. Esimerkiksi satohyödyllä 10 % skenaarion B keskimääräiset takaisinmaksuajat ovat noin 0,5 vuotta lyhempiä kuin skenaarion A takaisinmaksuajat.

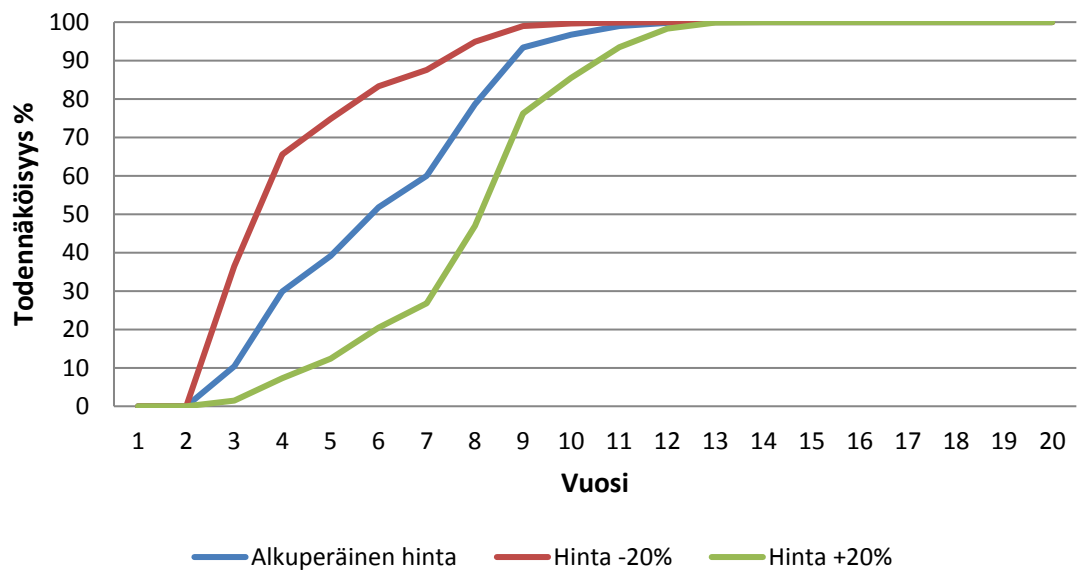
Peltolohkon 1 simulointi tulokset esitetään myös kuvioina 1–7 vastaavilla satohyöty- ja hintaskenaarioilla kuin taulukoissa 8 ja 9. Kuvat havainnollistavat takaisinmaksuaikojen todennäköisyyttä eri satohyöty ja hintaskenaarioiden välillä. Kuvissa esitetyt todennäköisyydet kuvaavat riskiä, joka johtuu kasvinviljelytuotteiden hintojen ja sadon vaihtelusta annettujen keskihajontojen mukaisesti.

Kuvista voidaan havaita, että matalalla hintatasolla takaisinmaksuajat ovat todennäköisesti lyhempiä kuin korkealla hintatasolla. Esimerkiksi kuvasta 2 (10 % satohyöty, skenario A) voidaan havaita, että viljelykasvien korkealla tuotteiden hintatasolla uuden tuotantojärjestelmän takaisinmaksuaika on kuusi vuotta 20 % todennäköisyydellä, alkuperäisellä hintatasolla 50 % todennäköisyydellä ja matalalla hintatasolla 80 %. Lisäksi korkealla hintatasolla on 1,5 % todennäköisyys, alkuperäisellä hintatasolla 10 % todennäköisyys ja matalalla hintatasolla 36 % todennäköisyys sille, että takaisinmaksuaika on pienin mahdollinen eli kolmen perusinvestointivuoden mittainen.

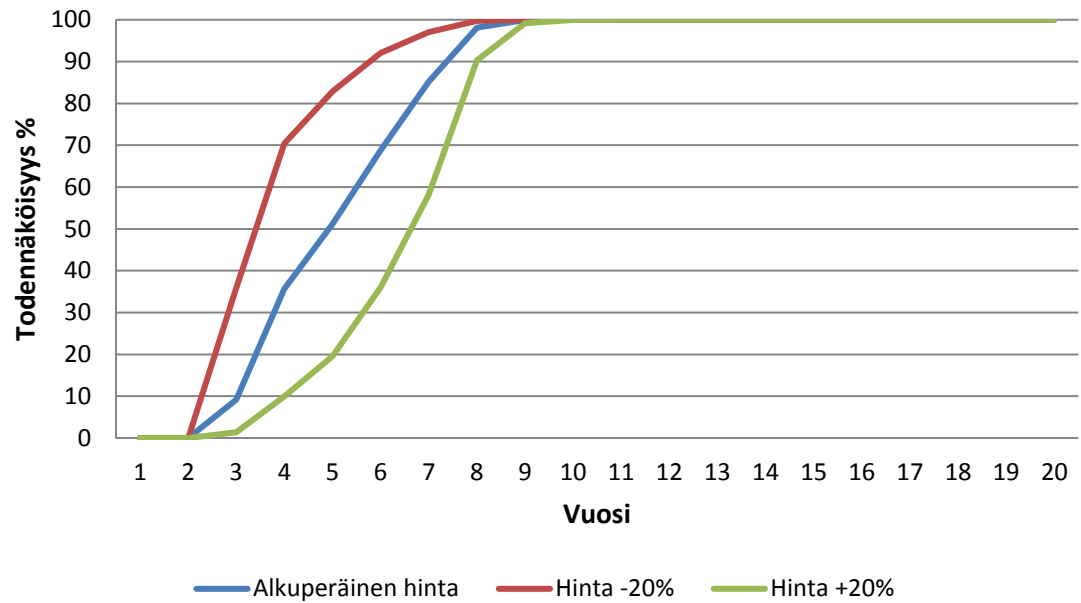
Investoinnit ovat maksaneet itsensä takaisin viimeistään silloin, kun todennäköisyyskäyrä saavuttaa todennäköisyyden 100 %.



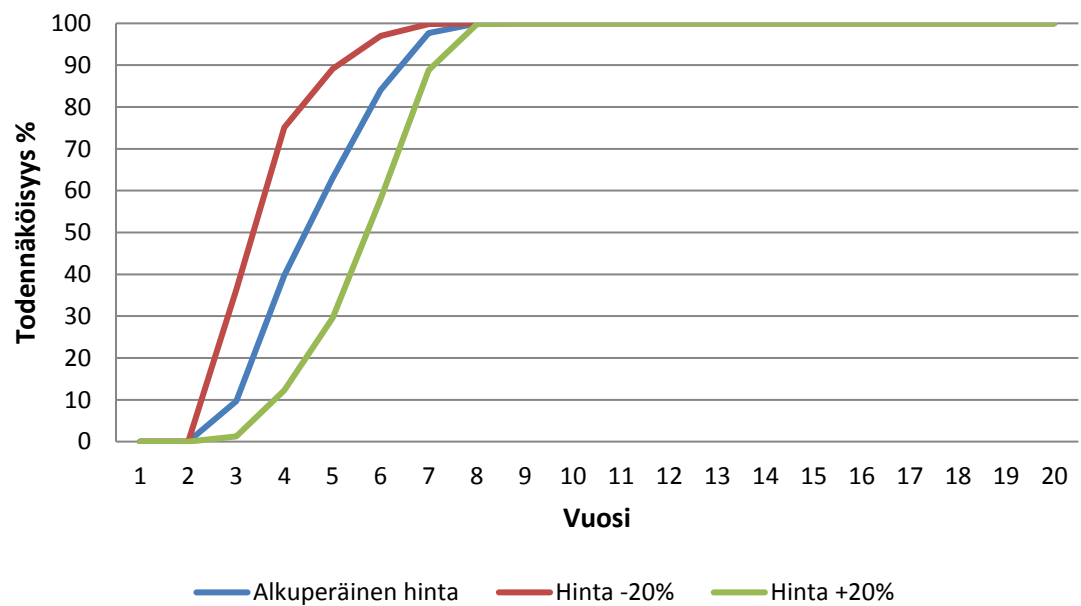
KUVIO 1. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet ilman sadonlisäystä.



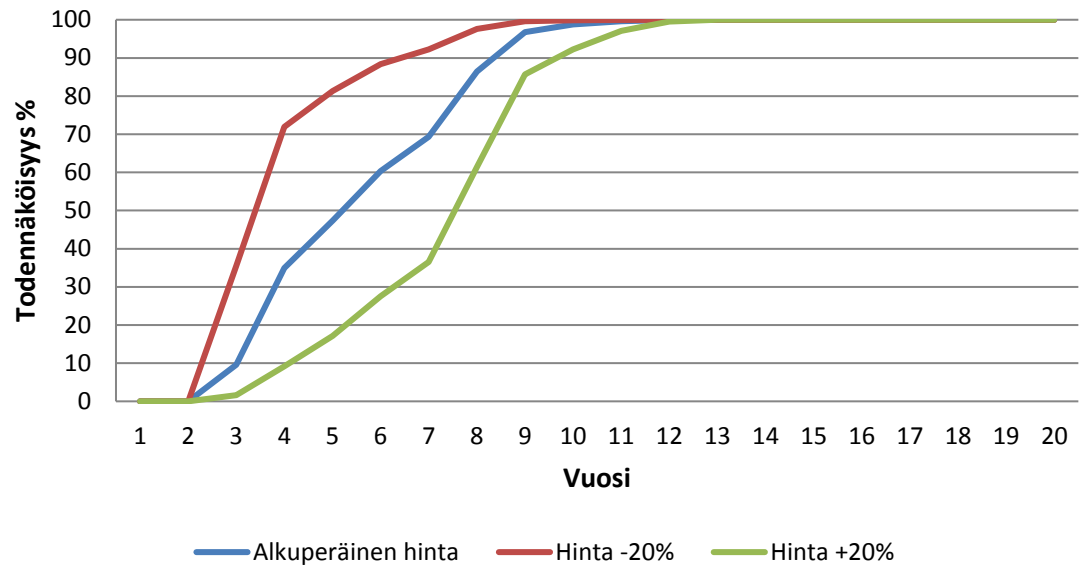
KUVIO 2. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 10 % skenaarion A mukaisesti.



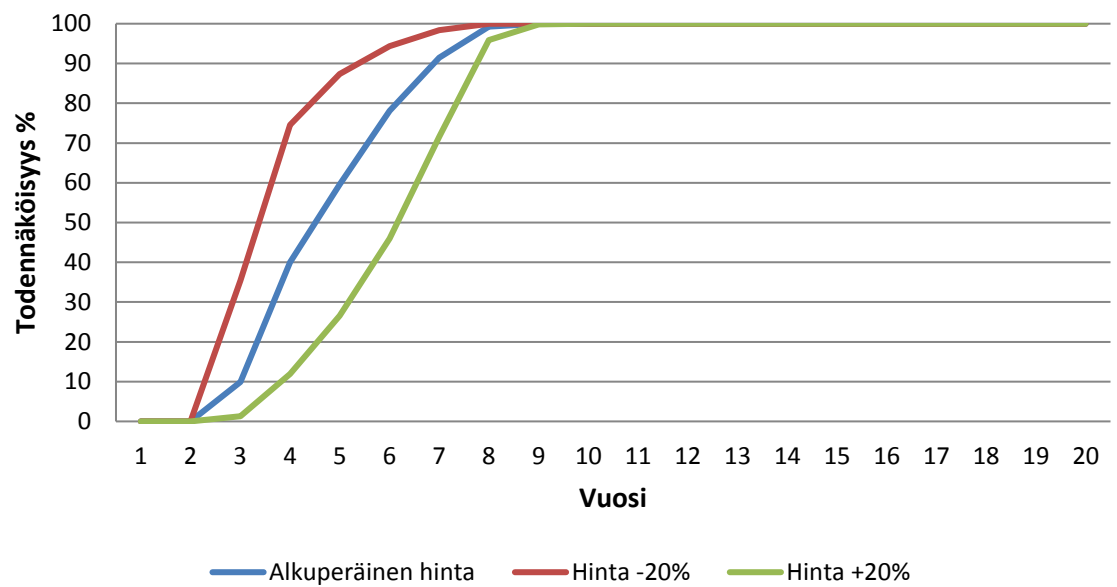
KUVIO 3. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 20 % skenaarion A mukaisesti.



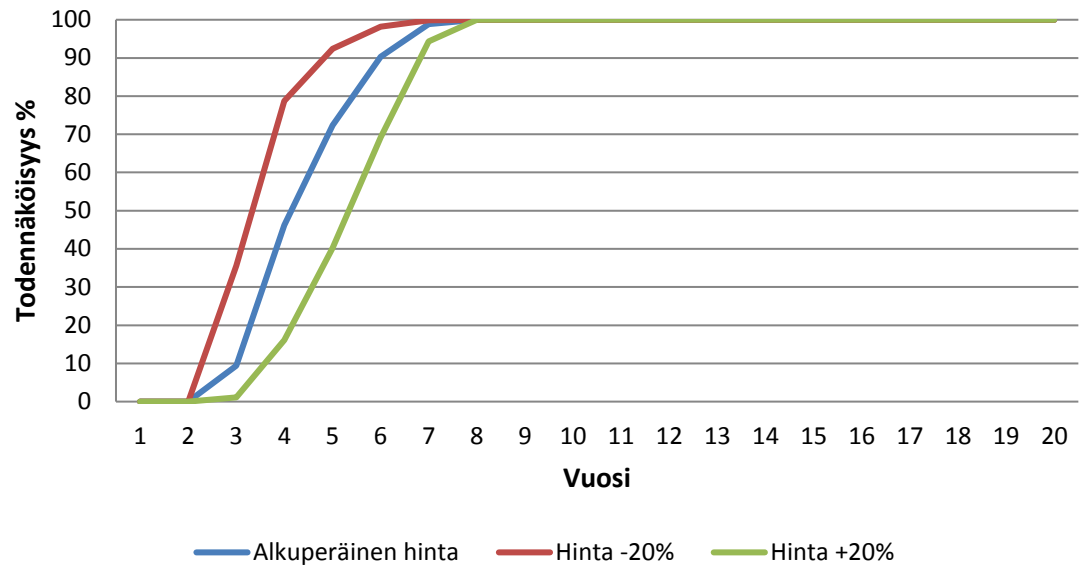
KUVIO 4. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 30 % skenaarion A mukaisesti.



KUVIO 5. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 10 % skenaarion B mukaisesti.



KUVIO 6. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 20 % skenaarion B mukaisesti.



KUVIO 7. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 30 % skenaarion B mukaisesti.

Uuden tuotantojärjestelmän kolmen vuoden takaisinmaksuaika on mahdollinen, kun sadosta saatava hinta on alhainen ja sato on pieni. Korkeiden sadonlisäysten vallitessa (kuvat 2–7) on todennäköisempää, että takaisinmaksuajat ovat lyhempiä ja hajonta vuosissa mitattuna on pienempää.

Peltolohkon 2 tulokset

Peltolohkon 2 tapauksessa kasvukuntoa parantava investointi oli kaksi nurmivuotta viljelykierron alussa, mikä on selvästi pienempi investointi kuin peltolohkon 1 tapauksessa. Peltolohkon 2 laskelmien keskeiset tulokset on koottu taulukoihin 10 ja 11. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin Peltolohkon 1 esimerkissä, koska tapaukset ovat samankaltaisia. Takaisinmaksuajat ovat lyhempiä, koska investointivuosia on vähemmän ja koska tässä tapauksessa ei ole muita kertaluonteisia investointeja kuin kaksi nurmivuotta viljelykierron alussa. Investoinnit toistuvat myöhemmin uudestaan, mutta toistuminen ei vaikuta merkittävästi tuloksiin, koska takaisinmaksuajat ovat lyhyitä.

Kuten taulukoista voidaan havaita, maan parempaan kasvukuntoon tähtäävä tuotantojärjestelmä maksaa itsensä takaisin ilman satohyötyä keskimäärin 3,0 vuodessa alkuperäisellä hintatasolla laskettuna johtuen uuden viljelykierron kasvien keskimääräisesti paremmista katetuotoista. Katetuottoihin vaikuttavat myös pienentyneet lannoituskustannukset biologisesta typensidonnasta johtuen niin kuin peltolohkon 2 tilanteessakin.

TAULUKKO 10. Takaisinmaksuaikojen (vuotta) keskimääräiset arvot, keskihajonta sekä minimi ja maksimit: satohyötyskenaario A, peltolohko 2

Satohyöty %	0			+10			+20			+30		
	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20
Hinnan muutos %												
Keskimääräinen	4,8	3,0	2,2	3,9	2,6	2,1	3,3	2,4	2,1	3,0	2,4	2,1
Keskihajonta	3,4	2,3	1,0	2,2	1,4	0,6	1,5	1,0	0,4	1,1	0,8	0,3
Min	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Max	12	12	12	12	11	11	9	7	7	6	6	6

TAULUKKO 11. Takaisinmaksuaikojen (vuotta) keskimääräiset arvot, keskihajonta sekä minimi ja maksimit: satohyötyskenaario B, peltolohko 2

Satohyöty %	0			+10			+20			+30		
	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20
Hinnan muutos %												
Keskimääräinen	4,4	2,8	2,1	3,6	2,5	2,1	3,1	2,4	2,1	2,9	2,3	2,1
Keskihajonta	3,0	1,9	0,8	1,9	1,1	0,5	1,3	0,8	0,4	1,0	0,7	0,3
Min	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Max	12	12	12	12	11	7	9	7	6	6	6	5

Skenaarion A mukaisella 10 % satohyödyllä keskimääräinen takaisinmaksuaika lyhenee 3,0 vuodesta 2,6 vuoteen, 20 % satohyödyllä 2,4 vuoteen ja 30 % satohyödyllä 2,4 vuoteen. Erot eri satohyötyjen välillä ovat pieniä takaisinmaksuaikojen ollessa yleisesti lyhyitä.

Kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen hintataso vaikutti myös tässä tapauksessa merkittävästi tuloksiin. Korkea hintataso pidensi takaisinmaksuaikojä, koska uuden viljelykierron kahden ensimmäisen vuoden menetetyt myyntituotot suurenevät. Esimerkiksi (satohyöty 10 %, skenaario A) tuottajahintojen korkealla (+20 %) hintatasolla keskimääräinen takaisinmaksuaika on 4,4 vuotta, kun alkuperäisellä hintatasolla se on 2,8 vuotta ja matalalla (-20 %) hintatasolla 2,1 vuotta.

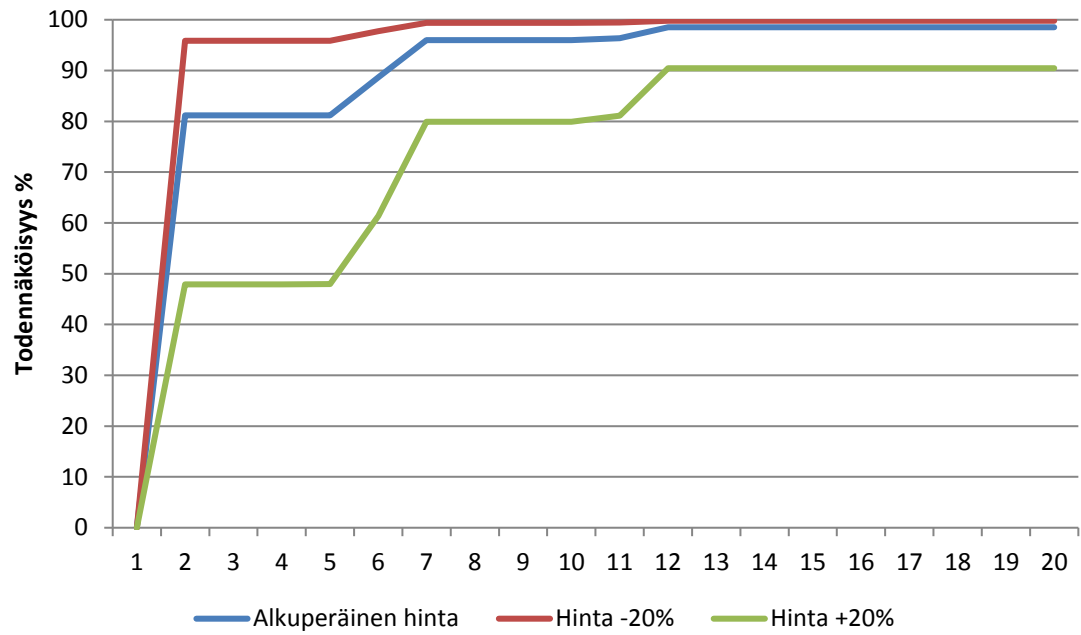
Vaihteluväli on pienin suurimman (30 %) satohyödyn skenaarioissa (3-4 vuotta) ja suurin (10 vuotta) pienimmällä satohyödyllä 0 %. Kaikissa satohyöty- ja hintaskenaarioissa on mahdollista saada pienin mahdollinen takaisinmaksuaika 2 vuotta. Tilanne on sama kuin Peltolohkon 1 tapauksessa eli uusi tuotantojärjestelmä voi olla kannattavampi jo ensimmäisten kahden vuoden aikana.

Taulukoiden 10 ja 11 tulosten mukaan pienen satohyödyn hajonta on suurempaa vuosissa mitattuna kuin suuren.

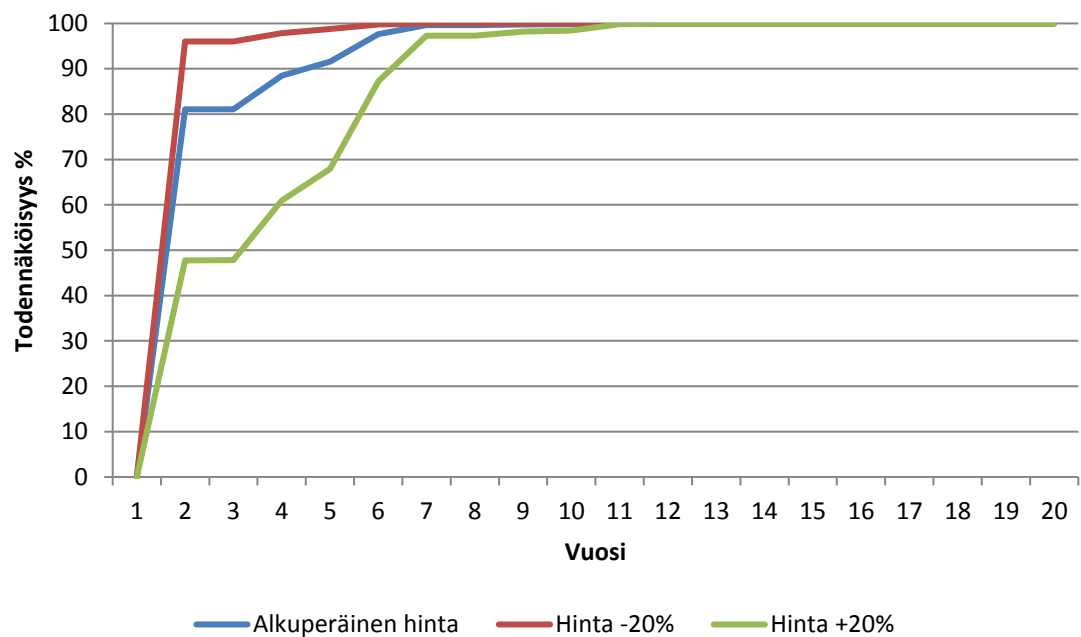
Satohyöty- ja hintaskenaariot skenaarion B mukaisesti on esitetty taulukossa 11. Skenaarion B mukaisella 10 %:n satohyödyllä keskimääräinen takaisinmaksuaika lyhenee 2,8 vuodesta 2,5 vuoteen, 20 % satohyödyllä 2,4 vuoteen ja 30 % satohyödyllä 2,3 vuoteen.

Kun satohyöty on 10 % ja tuottajahinnat korkealla (+20 %) tasolla, skenaariossa B keskimääräinen takaisinmaksuaika on 3,6 vuotta, alkuperäisellä hintatasolla 2,5 vuotta ja matalalla (-20 %) hintatasolla 2,1 vuotta. Myös tässä tapauksessa skenaarion B takaisinmaksuajat ovat lyhempiä kuin skenaarion A takaisinmaksuajat, mutta erot ovat pieniä.

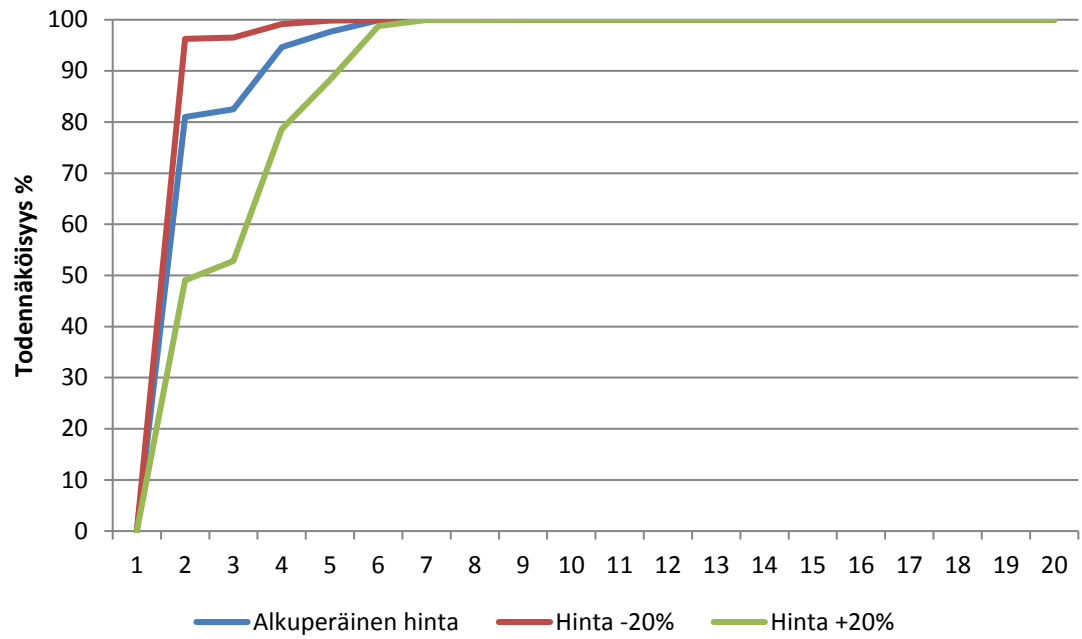
Peltolohkon 2 takaisinmaksuaikojen satohyöty- ja hintaskenaarioiden tulosten eri todennäköisyydet esitetään kuvissa 8–14.



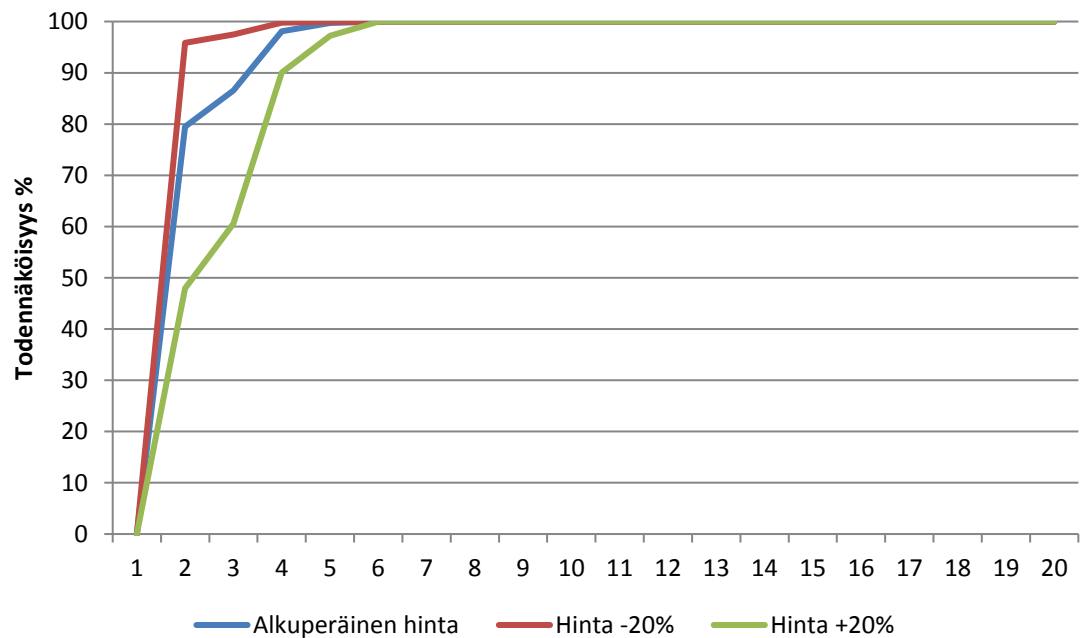
KUVIO 8. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet ilman sadonlisäystä.



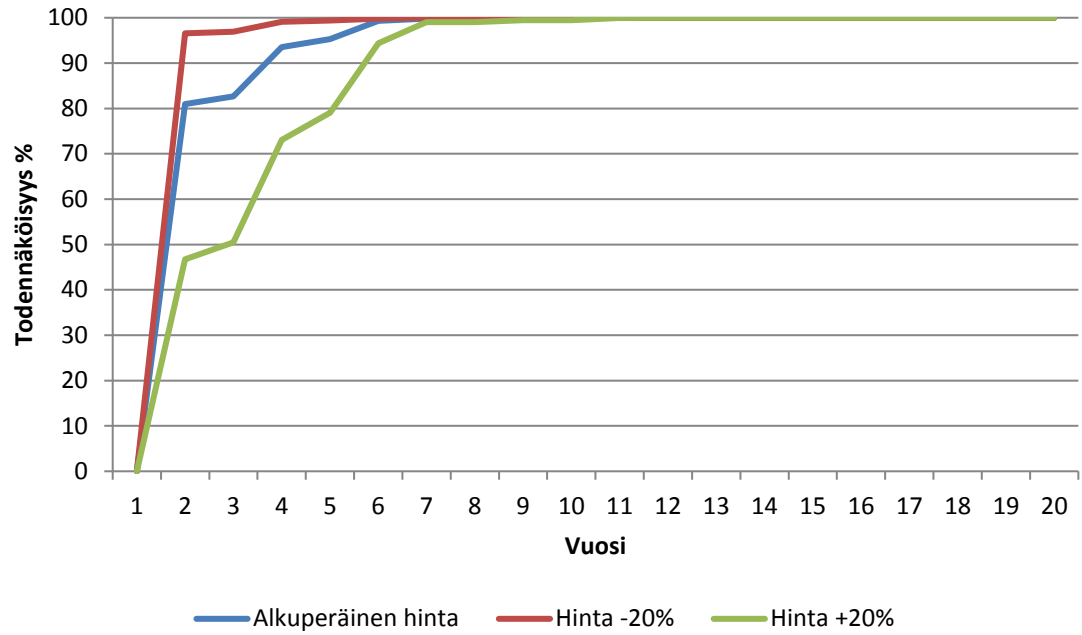
KUVIO 9. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 10 % skenaarion A mukaisesti.



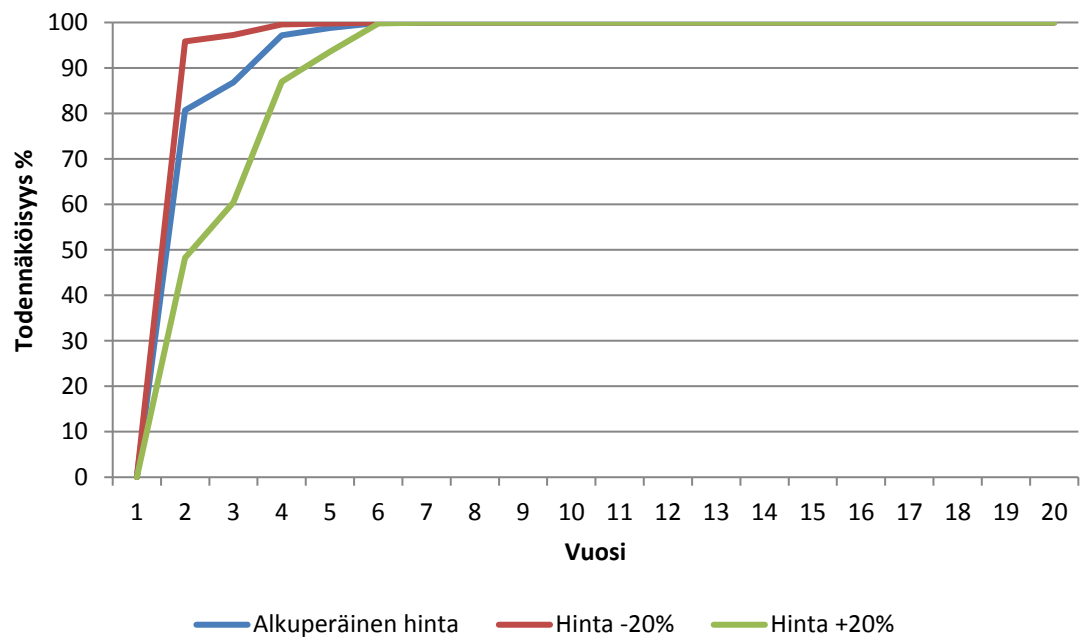
KUVIO 10. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 20 % skenaarion A mukaisesti.



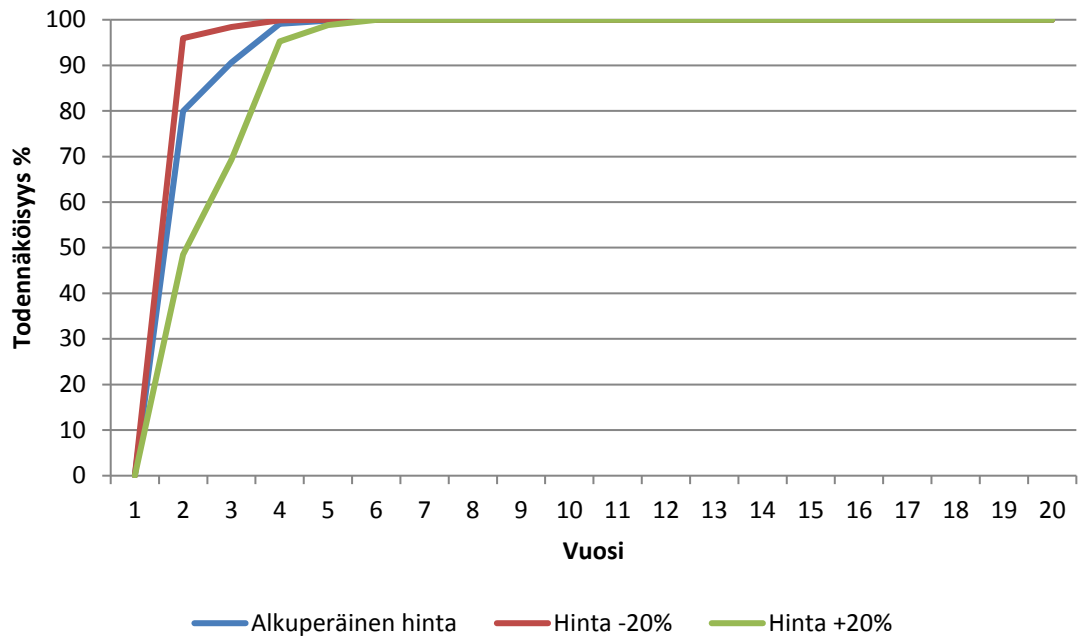
KUVIO 11. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet 30 %:n sadonlisäyksellä skenaarion A mukaisesti.



KUVIO 12. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 10 % skenaarion B mukaisesti.



KUVIO 13. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 20 % skenaarion B mukaisesti.



KUVIO 14. Takaisinmaksuaikojen kumulatiiviset todennäköisyydet sadonlisäyksellä 30 % skenaarion B mukaisesti.

Tämän tapauksen lyhin mahdollinen takaisinmaksuaika oli 2 vuotta. Kuvista 8-14 voidaan havaita, että suurimmalla satohyödyllä on hyvin todennäköistä, että jo perusinvestointivuosien aikana uuden tuotantojärjestelmän katetuotot ovat vanhaa tuotantojärjestelmää suuremmat.

Kuvan 8 perusteella korkealla hintatasolla ilman satohyötyä on 10 % todennäköisyys, että uusi tuotantojärjestelmä ei maksa itseään 20 vuoden sisällä takaisin.

6 Tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, kuinka nopeasti pellon kasvukuntoa korjaava viljelykierto ja maan rakenteen parannustoimenpiteet investointina maksavat itsensä takaisin eri satohyöty- ja hintaskenaarioilla sekä millaisia ovat menetetyt tuotot ja miten ne muodostuvat?

Koska tulevaisuuden hintatasoa on vaikea ennustaa ja maanparannustoimenpiteiden vaikutusta saatavaan satoon on vaikea arvioida, tutkimuksessa käytettiin näiden muuttujien osalta eri skenaarioita, joiden avulla arvioitiin niiden vaikutusta takaisinmaksuajakaan.

Kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen taso vaikutti merkittävästi tulonmenetyksiin. Korkea hintataso pidentää takaisinmaksuaikaa, koska uuden viljelykierron kolmen ensimmäisen vuoden myyntituottojen menetykset kasvavat. Viherlannoitusnurmesta ei saada myyntituottoja, mutta vanhan tuotantojärjestelmän kolmen ensimmäisen tarkasteluvuoden viljelykasvit tuottavat myytävää satoa.

Maanparannustoimenpiteistä saatava hyöty perustuu saatavaan sadonlisäykseen. Herkkyysanalyysin tulosten mukaan sadonlisäyksellä on merkittävää vaikutusta takaisinmaksuajakoihin. Näissä tapauksissa korkea sadonlisäys lyhentää takaisinmaksu aikaa merkittävästi.

Kaikissa sadonlisäys- ja hintaskenaarioissa on mahdollista saada pienin mahdollinen takaisinmaksuaika 3 vuotta. Kun sadosta saatava hinta ja sato ennen maanparannusta ovat alhaiset, uusi tuotantojärjestelmä voi olla kannattavampi jo ensimmäisten kolmen vuoden osalta. Tällöin viherlannoitusnurmen pitäminen peltolohkolla voi olla alhaisempien kustannusten vuoksi kannattavampaa kuin sadoksi myytävän viljelykasvin sadon tuottaminen. Tähän vaikuttaa erityisesti viherlannoitusnurmen pieni työkustannus verrattuna myytävää satoa tuottaviin kasveihin. Lisäksi viherlannoitusnurmihetkaari saa tuottoa 465 euroa tuista, vaikka myytävää satoa ei tuoteta lainkaan.

Maanparannustoimenpiteiden kannattavuus laskelmia ei ole ennen tehty tai niitä on tehty niukasti, joten tulosten vertailu aikaisempien tutkimusten kanssa ei ole mahdollista.

Lisäksi tämä tutkimus oli tapaustutkimusta, jonka vertailu ja yleistäminen eivät ole järkevää.

Tutkimuksen tuloksia voivat hyödyntää tutkimuksessa mukana olleet maatalousyrittäjät, joiden peltolohkoihin tämä tutkimus perustuu, sekä samankaltaisissa tilanteissa vaihtoehtoja pohtivat muut maatalousyrittäjät. Näiden laskelmien avulla maatalousyrittäjät voivat hahmottaa maanparannustoimenpiteiden takaisinmaksuaikaa. Lisäksi tämän kaltaista tutkimusmenetelmää ei ole aikaisemmin käytetty maanparannustoimenpiteiden kannattavuuden arvioitiin. Tutkimusmenetelmää voisi kehittää eteenpäin esimerkiksi selvittämällä maan kasvukunnon vaikutusta satovastefunktioihin.

Maanparannustoimenpiteiden vaikutusta satoon voisi tutkia enemmän, jotta laskelmiin saataisiin enemmän biologista pohjaa. Herneen hintatietoja ja satotasoa voisi tilastoida enemmän. Sekä typpiressonssit herneestä ja apilasta auttaisivat optimoimaan niiden lannoituksen.

7 Johtopäätökset

Tutkielman tarkoitus oli arvioida maanparannustoimenpiteiden kannattavuutta Opal Life -hankkeen pilottitilojen esimerkkitapausten pohjalta. Maanparannustoimenpiteiksi luettiin viljelykierron monipuolistaminen ja kertaluonteiset maanparannusinvestoinnit. Tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka nopeasti maanparannusinvestointina maksavat itsensä takaisin eri satohyöty- ja hintaskenaarioilla. Skenaarioita käytettiin, koska toimenpiteiden vaikutusta maan sadontuottokykyyn ja siitä saatavaan satohyötyyn on erittäin vaikea arvioida. Kasvinviljelytuotteiden tuottajahintojen hintatason vaikutusta lopputulokseen tutkittiin herkkyyssanalyysillä.

Peltolohkon 1 tapauksessa tarkasteltiin kohtalaisen mittavaa maanparannusinvestointia, joka sisältää ensimmäisinä vuosina viherlannoitusnurmen, jankkuroinnin ja puukuidun käytön sekä myöhemmin vuosina syväjuurisia kasveja viljelykierrossa. Keskimääräiset takaisinmaksuajat olivat noin 5–9 vuotta alkuperäisellä hintatasolla laskettuna riippuen saatavan satohyödyn suuruudesta. Tuottajahintojen korkealla (+20 %) hintatasolla vastaavat takaisinmaksuajat olivat 6–12 vuotta ja matalalla (-20 %) hintatasolla 4–5 vuotta. Tuottajahintojen korkea taso pidentää takaisinmaksuaikaa, koska korkealla hintatasolla perusinvestointivuosien menetetyt myyntituotot ovat suurempia. Esimerkiksi niinä vuosina, kun käytetään viherlannoitusta, ei tule satoa myytäväksi, jolloin menetetty sadosta saatava tuotto on suurempi korkeampien hintojen vallitessa.

Peltolohkon 2 tapauksessa kasvukuntoa parantava investointi oli kaksi nurmivuotta viljelykierron alussa, mikä on selvästi pienempi investointi kuin peltolohkon 1 tapauksessa. Tällöin myös vastaavat keskimääräiset takaisinmaksuajat olivat 2–3 vuotta alkuperäisellä hintatasolla laskettuna. Korkealla tuottajahintatasolla takaisinmaksuajat olivat 3–4,5 vuotta ja matalalla hintatasolla 2 vuotta. Matalalla hintatasolla jo perusinvestointivuosien tuotot olivat suurempia uudessa tuotantojärjestelmässä kuin vanhassa johtuen vähäisemmistä kustannuksista.

Herkkyyssanalyysin tulosten perusteella voidaan todeta, että saatavalla satohyödyllä ja tuottajahintojen hintatasolla on vaikutusta maan parannustoimenpiteiden kannattavuuteen.

Tutkimuksen tuloksien yleistämisessä on oltava varovainen, sillä tutkimus oli tapaustutkimusta. Tutkimuksessa ei pyritty tulosten yleistämiseen vaan tutkittiin esimerkkitapauksia yksityiskohtaisesti. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää rohkaisevina maanparannusinvestointien kannalta sikäli, että molemmissa tapauksissa investointien alle 10 vuoden takaisinmaksuaika on hyvin mahdollinen jopa todennäköinen. Suurta maanparannusinvestointia, joka sekin voi olla perusteltu, on kuitenkin syytä arvioida laskelmien avulla tarkoin, koska sen takaisinmaksuaika voi olla yli 10 vuotta.

Käytännössä myös vuodet ovat erilaisia viljelyolosuhteiden suhteen. Huono kesä viljelyolosuhteiden suhteen vaikuttaa maanparannus investointien takaisinmaksu-aikaan, jos satoa ei esimerkiksi saada korjattua ollenkaan, tai jos sato on heikko tai heikkolaatuinen. Tässä tutkimuksessa oletettiin viljelyolosuhteiden olevan koko ajan keskimääräiset ilman vuosien välistä vaihtelua. Kuitenkin pitkällä aikavälillä parempi maan rakenne ja kasvukunto auttavat pitämään satomäärät parempina huonommissakin viljelyolosuhteissa kuten liian sateisina tai kuivina kesinä.

LÄHTEET

Alakukku, L. & Eloinen, P. 1997. Tiiviin maan syväkuohkeutus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A 30. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. Vammalan Kirjapaino Oy.

Alakukku L. & Teräväinen H. (toim.). 2002. Maan rakenteen hoito. ProAgria Maaseutokeskusten Liiton julkaisuja nro 982, Tieto tuottamaan 98. Otavan kirjapaino, Keuruu.

Alström, S. 1992. Saprophytic soil microflora in relation to yield reductions in soil repeatedly cropped with barley. *Biology and Fertility of Soils* 14, 145–150.

Andersson, N. 2015. Viljelykierrot luonnonmukaisessa kasvintuotannossa: Viljelykiertosuunnitelmien toteutuminen sekä viljelykiertojen alueellinen vertailu. Helsingin yliopisto. Maataloustieteiden laitos. Pro gradu -tutkielma.

Ball, B., Bingham, I., Rees, R., Watson, C. & Litterick, A. 2005. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science* 85, 557–577.

Bennett, A., Bending, G., Chandler, D., Hilton, S. & Mills, P. 2011. Meeting the demand for crop production: The challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews* 87, 52–71.

Christen, O. & Sieling, K. 1995. Effect of Different Preceding Crops and Crop Rotations on Yield of Winter Oil-seed Rape. *Journal of Agronomy and Crop Science* 174, 265–271.

Doll, J. & Orazem, F. 1984. Production economics theory with applications. 2nd edition. John Wiley & Sons.

Dury, J., Schaller, N., Garcia, F., Reynaud, A. & Bergez J. 2011. Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* (2012) 32, 567–580.

FACCE JPI 2016a. Strategic Research Agenda. Agriculture, Food Security and Climate Change.

<https://www.faccejpi.com/Strategic-Research-Agenda>

Farmit 2016a. Pelto kuntoon maanparannusaineilla. Farmit.net -internetsivun artikkeli. Viitattu 11.8.2016.

<http://www.farmit.net/kasvinviljely/2014/11/03/pelto-kuntoon-maanparannusaineilla>

- Featherstone, A. & Goodwin, B. 1993. Factors influencing a farmer's decision to invest in long-term conservation improvements. *Land Economics* 69, 67–81.
- Foley, J., Ramankutty, N., Brauman, K., Cassidy, E., Gerber, J., Johnston, M., Mueller, D., O'Connell, C., Ray, D., West, P., Balzer, C., Bennett, E., Carpenter, S., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. & Zaks, D. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342.
- Gebremedhin, B. & Schwab, G. 1998. The economic importance of crop rotation systems: Evidence from the literature. Staff Paper No. 98-13. Department of Agricultural Economics Michigan State University.
- Haataja, K. & Peltola, J. 2001. Salaojituksen kannattavuus Suomessa. Taloustutkimus (MTTL), selvityksiä 20/2001.
- Heikkilä, T. 1998. Tilastollinen tutkimus. 7. Uudistettu painos. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013 Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009. *Global Change Biology* 19, 1456–1469.
- Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. WSOY, Porvoo, Helsinki, Juva.
- Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. 13. painos. Otavan kirjapaino Oy, keuruu.
- IPCC 2012a. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Field, C., Barros, V., Stocker, T., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K., Mastrandrea, M., Mach, K., Plattner, G.-K., Allen, S., Tignor, M. & Midgley, P. (eds.). A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, & New York, USA.
- Joona, J. 2011. Paperiteollisuuden sivutuotteilla maan rakenne paremmaksi. *Käytännön maamies* 9/2011 -lehti, 16–19.
- Joona, J. 2012. Rakennekalkitus parantaa savimaan mururakennetta. *Käytännön maamies* 10/2012 -lehti, 56–58.

Karlen, D., Varvel, G., Bullock, D., & Cruse R. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy* 53, 2–37.

Keskitalo, M., Eriksson, C., Hakala, K., Ikonen, A., Kaipainen, S., Kurppa S., Palojärvi, A., Soini, K., Turunen, H. & Vuorio, H. Kohti monimuotoista viljelyä erikoiskasvien avulla. Maataloustieteen Päivät 2006, Helsinki. Esitelmät ja posteritiivistelmät. Rantamäki-Lahtinen, L. ja Partanen, K. (toim.).

Keskitalo, M. & Jauhiainen, L. 2012. Tilan koko vaikuttaa viljelykierron toteutukseen. *Maaseudun tiede* 2/2012 -lehti, 13.

Keskitalo, M. 2013. Uusien viljelykasvien vaikutus viljelyn monimuotoisuuteen ja ympäristöön. Kohtaavatko maatalouden taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys? -luento. Kouvola-talo, Simelius-Sali 11.3.2013. Viitattu 1.8.2016.

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjGpd-9x5_OAhXBO5oKHcrCBi8QFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fname%2F%257B7EE57589-72D9-4335-8024-4F31E3110596%257D%2F95760&usg=AFQjCNGC74blUCkL3OyDbNAdnprZLr_fNQ&cad=rja

Keskitalo M., Hakala, K., Huusela-Veistola, E., Jalli, H., Jalli, M. & Jauhiainen, L. 2014. Esikasvin vaikutus viljojen, öljykasvien ja perunan viljelyyn. TEHO Plus -hankkeen julkaisu 4/2014.

Kleemola, J. 2013. Viherlannoitusopas. TEHO Plus -hankkeen julkaisu 2/2013.

Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K. & Nykänen, A. 2013. Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä. MTT Raportti 76.

Köppä, P. 1987. Kasvinviljelyoppi 1. 4.-5. painos. Kirjayhtymä, Helsinki.

Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Agrifood Research Finland, Economic Research (MTTL). Publications 98. Helsinki.

Lehtonen, H. 2016. Viljelytoimien kannattavuus, satotasot ja markkinat -luento. Vilja-alan yhteistyöryhmän, vilja- ja öljykasvissektorin yhteistoimintahankkeen järjestämä viljelijäseminaari. 17.2.2016. Hämeenlinna. Tallenne katsottavissa osoitteessa: <https://www.youtube.com/watch?v=F8PXGwprPgE>. Viitattu kohta alkaa kohdasta 16:00.

Lobell, D. Cassman, K. & Field, C. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes and Causes. *Annual Review Environmental Resources* 34, 179–204.

Low, A. J. 1973. Soil structure and crop yield. *Soil Science* 24, 249–259.

Luenberger, D. 1998. Investment science. Oxford university press, New York, Oxford.

Luke 2016a. Peltojen vesieroosio. Luonnonvarakeskus -internetsivu. Viitattu 5.9.2016
<http://stat.luke.fi/indikaattori/peltojen-vesieroosio>

Maatalouden ilmasto-ohjelma – Askeleita kohti ilmastoystävällistä ruokaa. 2014. Maa- ja metsätalousministeriö.

Modags 2016a. Yield gaps for Finnish field crops. Viitattu 14.9.2016.

http://www.mtt.fi/modags/modags_YieldGaps.html

Myllys, M., Gustafsson, M., Koppelmäki, K., Känkänen, H. & Palojärvi, A. 2014. Juuristo tietopaketti – Juuret maan rakenteen parantajina. Ravinnehuhtoumien hallintaa (RaHa) -hanke. Fakta 8.

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 1997. Johdon laskentatoimi. 1. painos. Edita, Helsinki.

Olson, K. 2004. Farm management principles and strategies. Iowa State Press, Iowa.

OPAL Life 2016a. OPAL Life –hankkeen internetsivu. Viitattu 12.9.2016.

<http://www.opal.fi/hanke/>

OPAL Life 2016b. OPAL Life –hankkeen internetsivu. Viitattu 12.9.2016.

<http://www.opal.fi/optimointi/>

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Laurila, I. 2009. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realization. *Field Crops Research* 110, 85–90.

Peltonen-Sainio, P. 2015. Tuotannon kestävä tehostaminen. Esitys ”Miten sadot ja tulot nousuun?” – työpajassa Raisiossa 26.11. 2015. Luonnonvarakeskus, NORFASYS-hanke.

http://www.mtt.fi/modags/raisioseminaari/Pirjo%20Peltonen_Sainio.pdf

Peltonen-Sainio, P. & Niemi, J. 2012. Protein crop production at the northern margin of farming: to boost, or not to boost. MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research. Jokioinen, Finland.

Peltonen-Sainio, P., Salo, T., Jauhiainen, L., Lehtonen, H. & Sieviläinen, E. 2015. Static yields and quality issues: Is the agri-environment program the primary driver? *Ambio* 44, 544–556.

Peltonen-Sainio, P., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Voutila, L., Niemi, J., Valaja, J., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2012. Potential and realities of enhancing rapeseed and grain legume based protein production in a northern climate. *The Journal of Agricultural Science* 151, 1-19. Cambridge University Press.

ProAgria 2016. Mallilaskelmat 2016 Tuottopehtorissa. Maaseutukeskusten Liitto 2016.

Rajala, J. 2005. Luomuviljelyn suunnittelu. Työohjeita. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus.

Rajala, J. (toim.). 2006. Luonnonmukainen maatalous. Julkaisu no 80. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus.

Rodriguez, D., deVoil, P., Power, B., Cox, H., Crimp, S. & Meinke, H. 2011. The intrinsic plasticity of farm businesses and their resilience to change. An Australian example. *Field Crops Research* 124, 157–170.

Ryynänen, V. & Pölkki, L. 1982. Maanviljelystalous. 4. painos. Kirjayhtymä, Helsinki.

Salonen, J., Keskitalo, M. & Segerstedt, M. (toim.). 2007. Peltoluonnon ja viljelyn monimuotoisuus. *Maa- ja elintarviketalous* 110.

Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winquist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. MTT raportti 151.

Sipiläinen T., Koikkalainen, K. & Vanhantalo, A. 2012. Taloudellinen näkökulma palkokasvien viljelyyn. Teoksessa Nykänen, A. (toim.). 2012. Typpi- ja valkuaisomavaraisuuden lisääminen palkokasveja tehokkaasti hyödyntäen. MTT raportti 59.

Shipton, P. 1977. Monoculture and soilborne plant pathogens. *Annual Reviews Phytopathol* 15, 387–407.

Soikkanen, S. 1996. Maatilayrittäjien päätöksentekoon vaikuttavat tekijät erilaisissa maatilayrityksissä. Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja no 899. Edita Oy, Helsinki.

Soussana, J-F, Fereres, E., Long, SP., Mohren, F., Pandya-Lorch, R., Peltonen-Sainio, P., Porter, J., Rosswall, T. & von Braun, J. 2012. A European science plan to sustainably increase food security under climate change. *Global Change Biology* 18, 3269-3271.

Stobart, R. 2009. Identifying changes in crop performance and microbial populations under frequent cropping with oilseed rape. *Aspects of Applied Biology* 91, Crop protection in Southern Britain, 1–5.

Teittinen, P. 1979. Ruis elvytettävänä. *Käytännön Maamies* 7/1979 -lehti.

Toukoluoto, N. & Peltonen, S. (toim.) 2015. Viljelykiertojen monipuolistaminen. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja nro 1142, Tieto tuottamaan 141. Bookwell, Porvoo.

Tike 2016a. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta Tike. Viitattu 2.8.2016. http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__22%20Kaytossa%20oleva%20maatalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/table/tableViewLayout1/?rxid=5ec18096-348c-4544-9dd4-bbc6fdb3c29c

Tike 2016b. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta Tike. Viitattu 2.8.2016. http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__22%20Kaytossa%20oleva%20maatalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Turkki, A. 2006. Tuotantoekonomia. Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos, monistesarja nro 4, 2. uudistettu painos, maatalouden liiketaloustiede, Helsinki.

Van Ittersum M. & Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field crop research* 52, 197–208.

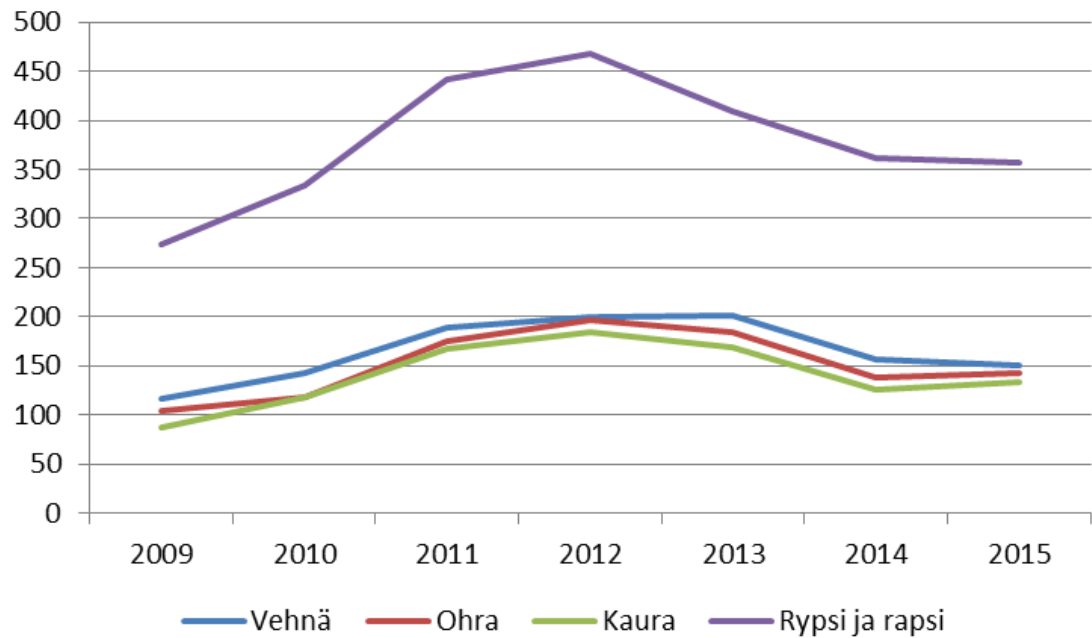
Viitala, R. & Jylhä E. 2002. Menestyvä yritys liiketoimintaosaamisen perusteet. 5. painos. Edita Prima, Helsinki.

Vose, D. 1996. Quantitative Risk Analysis, A guide to Monte Carlo Simulation Modelling. Third edition. Chichester, John Wiley & Sons.

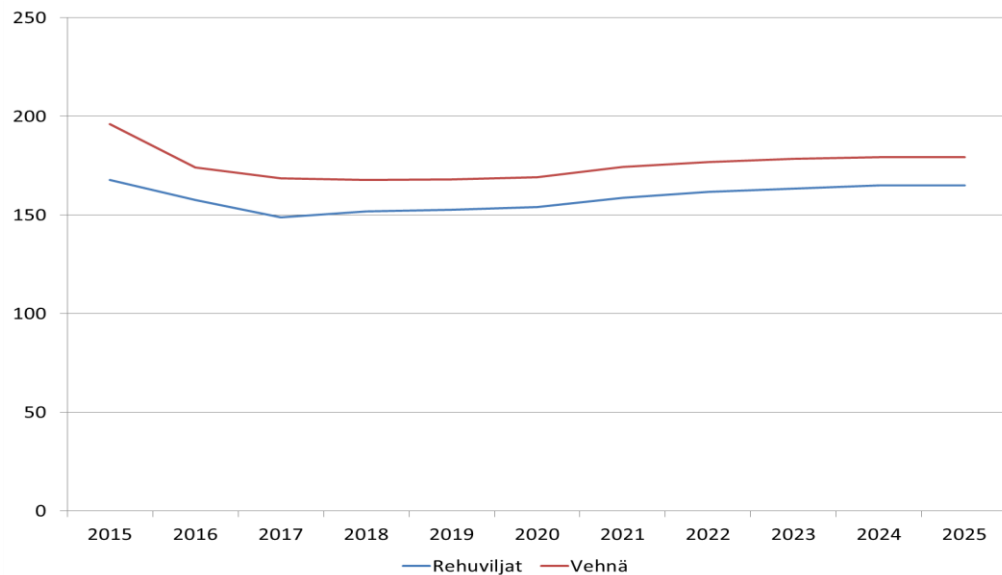
Yin, R. K. 1994. Case study research: Design and methods. 2. painos. Applied Social Research Methods Series Volume 5. Sage Publications.

LIITTEET

Liite 1.



KUVIO 1. Viljojen sekä rypsin ja rapsin tuottajahinnat (e/tn) vuosina 2009–2015 (Tike 2016)



KUVIO 2. EU-28 reaali tuottajahintojen ennustettu kehitys vuosina 2015–2025 (OECD-FAO Agricultural Outlook 2016–2025)

Liite 2. Laskelmissa käytettyjen hintojen ja kustannusten lähteet

Tuotot	Lähde
Sadon hinnat*	<i>Tike, keskihinta ja hajonta 2009-2016</i>
Satotaso**	<i>Tike, keskisato ja hajonta 2000-2015</i>
Tuet	<i>Maaseutuvirasto, hakuopas 2016</i>
Kustannukset	Lähde
Siemen	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Nurmiseokset***	<i>Markkinahinta 2016</i>
Lannoitteet	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Kasvinsuojeluaineet	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Poltto- ja voiteluaineet (traktori, puimuri)	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Kuivauksen polttoaine ja sähkö	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Rahtikulut	<i>ProAgria, tuottopehtori 2016</i>
Palkka	<i>ProAgria, tuottopehtori (ostotyön hinta) 2016</i>
Maan parannustoimenpiteet	<i>Maatalousyrittäjät</i>

*Kuivaherneen ja rehuherneen hinta oma arvio eri lähteiden perusteella (Peltonen-Sainio & Niemi (2012); Sipiläinen ym. (2012))

*Puna-apilan siemenen tuottajahinta (ProAgria 2016)

**Puna-apilan siemenen satotaso (190 kg/ha) arvio

***Agro-Tuonti

Liite 4. Peltolohkon 2 kasvien katetuotot alkuperäisillä lähtöarvoilla

	Ohra	Nurmi*	Viherrannoitusnurmi**	Rehuherne	Kevätvehnä	Rypsi	Syysruis (hybrid)
Sadon hinta e/kg	0,143			0,2	0,158	0,373	0,141
Sadon määrä kg	3800			2500	3800	1400	2800
Markkinatuotot	541		-	500	602	522	519
Tuet	478		518	469	622	622	593
Oma siemen	42				60		
Osto siemen	22	56	134	229	30	50	133
Lannoitus	172			86	211	126	119
Kalkitus (ylläpito)	11			11	11	11	11
Rikkakasvintorjunta-aineet	25	16			26	108	36
Kasvitauti/tuholaistorjunta-aineet	24			69	7	15	
Traktorin poltto- ja voiteluaineet	41	2	40	46	41	41	43
Leikkuupuinti, polttoaine ja sähkö	7			7	7	10	10
Kuivaus tai sadon käsittelykone	49			32	49	18	36
Rahitkulut eli sadon kuljetusmaksu	57			37	57	21	45
Liikepääoman korko	4	1	3	4	4	4	4
Työ	193	8	0	193	193	193	209
Kustannukset yhteensä	647	83	177	714	696	597	646
Katetuotto	372	435	292	408	384	547	466
* 1. nurmivuosi sisältää perustamiskustannukset (siemensseos 15 kg: timotei + nurminata) Perustaminen tapahtuu suojaviljaan.							
2. nurmivuosi sisältää glyfyosaatila lopetuksen (ainekustannus 16e/ha + 8,05e/ha työkustannusta).							
Tuki sisältää ympäristökorvauksen "luelannan sijoittaminen peltoon" toimenpiteen 40e/ha.							
** Osto siemensseos: sinimailanen 13 kg, timotei 8 kg, englanninhaiheinä 5kg. Kleemola, J. (2013, 10) Viherrannoitusopas.							
Sisältää vuosittaisen niittomurskaus urakoinnin 40e/ha.							
Mahdollisen ympäristökorvauksen "keijäkäsvi" toimenpiteen mukana ollessa tukeen on lisätty 100e/ha							

Liite 5. Typpilannoituksen satovastefunktioissa käytetyt arvot

Mitscherlich		
Parametri	Arvo	Alkuperäinen
Vehnä		
m	4883*	4956
a	0,7624	
b	0,011	
Ohra		
m	4552*	5218
a	0,828	
b	0,017	
Kaura		
m	4602*	4760
a	0,7075	
b	0,02	
Kvadraatti		
Rypsi		
a	890	
b	9,77*	9,95
c	-0,0354	
Ruis		
a	2086,00	
b	11,97*	12,34
c	-0,0171	

*muokattu esimerkkilohkojen nykyisten satotasojen mukaisiksi

Lähde:

Lehtonen (2001)

Vehmän, kauran, ohran, rypsin ja rukiin lannoitteena on käytetty YaraMila Y2 (25-2-5) -lannoitetta hinnalla 0,45 e/kg.

Herneen ja puna-apilan siemenen lannoitteena on käytetty YaraMila Y6 (17-5-10) -lannoitetta hinnalla 0,49 e/kg. (ProAgria 2016.)

Liite 6. Peltolohkon 1 viljelykierrot ja maan parannustoimenpiteet

Vuosi	Vanha viljelykierto	Uusi viljelykierto	Maan parannustoimenpiteet	Toimenpiteiden kustannukset
1	Ohra	Viherlannoitusnurmi		
2	Kevätvehnä	Viherlannoitusnurmi	jankkurointi, puukuitu	jankkurointi 80e/ha/v, puukuidun levitys 200e/ha
3	Kevätrypsi	Viherlannoitusnurmi	jankkurointi	
4	Ohra	Syysrypsi*		
5	Kevätvehnä	Herne*		
6	Rehuohra	Kaura		
7	Kevätvehnä	Puna-apilan siemen		
8	Kevätrypsi	Puna-apilan siemen		
9	Rehuohra	Syysrypsi*		
10	Kevätvehnä	Herne*		
11	Rehuohra	Kaura		
12	Kevätvehnä	Puna-apilan siemen		
13	Kevätrypsi	Puna-apilan siemen		
14	Rehuohra	Syysrypsi*		
15	Kevätvehnä	Herne*		
16	Rehuohra	Kaura		
17	Kevätvehnä	Puna-apilan siemen		
18	Kevätrypsi	Puna-apilan siemen		
19	Rehuohra	Syysrypsi*		
20	Kevätvehnä	Herne*		

*aluskasvi (ei biologista typen sidontaa)

Tukialue A, HiueSavi, tiivistymä, eloperäisen aineksen puute, ei nurmea viljelykierrossa koskaan ennen. Puukuitu (44tn/ha) ilmaista, ainoastaan levityskustannus.

Liite 7. Peltolohkon 2 viljelykierrot

Vuosi	Vanha viljelykierto	Uusi viljelykierto
1	Rehuohra	Nurmi
2	Kevätvehnä	Nurmi
3	Kevätrypsi	Syysruis
4	Rehuohra	Rehuohra*
5	Kevätvehnä	Herne
6	Rehuohra	Kevätvehnä*
7	Kevätvehnä	Rypsi
8	Kevätrypsi	Rehuohra
9	Rehuohra	Syysruis
10	Kevätvehnä	Herne
11	Rehuohra	Kevätvehnä*
12	Kevätvehnä	Rypsi
13	Kevätrypsi	Nurmi
14	Rehuohra	Nurmi
15	Kevätvehnä	Syysruis
16	Rehuohra	Rehuohra*
17	Kevätvehnä	Herne
18	Kevätrypsi	Kevätvehnä*
19	Rehuohra	Rypsi
20	Kevätvehnä	Rehuohra*

*valkoapila aluskasvina

Tukialue C2, karkeahieta, eloperäisen aineksen puute, ei nurmea viljelyssä 20 vuoteen, satotrendi ollut alaspäin.

Tässä tapauksessa maatalousyrittäjällä on sopimus naapuri maanviljelijän kanssa nurmenviljelystä. Maatalousyrittäjä vastaa nurmen perustamiskustannuksista ja lopetukselta. Naapuri korjaa nurmen sadon rehuksi ja hoitaa nurmen lannoituksen. Vastineeksi nurmialasta maatalousyrittäjä saa naudan lietelantaa käyttöönsä 40m³ per luovutettu nurmihehtaari, mutta joutuu itse maksamaan levityksen (2,5e/m³). Lietelannan levittäminen tapahtuu syksyllä, joten ravinnehuuhtoumien vuoksi laskelmissa lietelannan arvo (6,5 e/m³) on arvioitu lannan levityksen kustannuksen arvoiseksi.